

**ANALISIS PENGARUH TATAGUNA LAHAN TERHADAP EROSI
DAN PUNCAK BANJIR PADA SUB DAS GARANG
DENGAN PENDEKATAN MODEL ANSWERS**

TESIS

**Disusun Untuk Memenuhi Persyaratan
Program Magister Teknik Sipil**

Oleh :

Muhammad Hamim Ridwan

NIM : L4A 098027



**MAGISTER TEKNIK SIPIL
PROGRAM PASCASARJANA UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG**

JULI 2001

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS PENGARUH TATAGUNA LAHAN TERHADAP EROSI DAN PUNCAK BANJIR PADA SUB DAS GARANG DENGAN PENDEKATAN MODEL ANSWERS

TESIS

Disusun oleh :

Muhammad Hamim Ridwan
NIM : L4A. 098 027

Tesis ini diterima sebagai persyaratan
Ujian Akhir Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Diponegoro

Semarang, Juli 2001

Pembimbing Utama:


Prof. Ir. Joetata Hadihardaja

Pembimbing Pendamping :


1. Dr. Ir. Suripin, M Eng.


2. Ir. Endro Sutrisno, MS.

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS PENGARUH TATAGUNA LAHAN TERHADAP EROSI DAN PUNCAK BANJIR PADA SUB DAS GARANG DENGAN PENDEKATAN MODEL ANSWERS

Diajukan oleh :

Muhammad Hamim Ridwan

NIM : L4A 098 027

Dipertahankan di depan Tim Penguji pada tanggal :

6 Juli 2001

Tesis ini diterima sebagai suatu persyaratan untuk memperoleh gelar
Magister Teknik Sipil Universitas Diponegoro

Semarang, Juli 2001

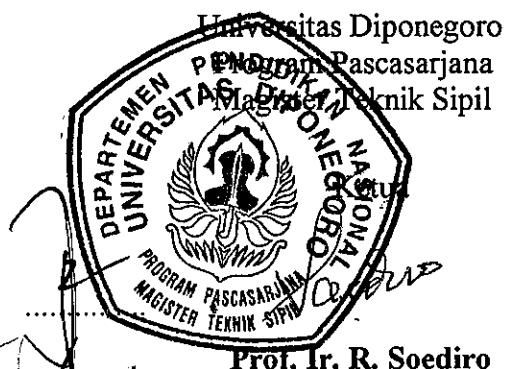
Tim Penguji :

Ketua :

Prof. Ir. R. Soediro

Anggota :

1. Prof. Ir. Joetata Hadihardaja
2. Dr. Ir. Suripin, M Eng.
3. Ir. Sri Sangkawati, MS.
4. Ir. Salamun, MT.



RINGKASAN

Lahan atau tanah merupakan sumber alam penting di dunia dan dibutuhkan masyarakat untuk keperluan tempat tinggal dan bercocok tanam, terasa semakin penting dan meningkat. Tidak hanya pada kawasan budidaya, melainkan sampai pada kawasan lindung, sehingga menyebabkan terganggunya fungsi resapan air yang sangat dibutuhkan untuk kelestarian suatu DAS, dengan ditandai meningkatnya erosi dan puncak banjir.

Kualitas DAS sangat ditentukan oleh parameter lahan, yang meliputi vegetasi, jenis tanah, kemiringan lereng dan lebar alur. Parameter hidrologi juga memegang peranan penting, seperti intensitas hujan yang menimbulkan aliran lahan (*runoff*), puncak banjir dan erosi, sekaligus mempengaruhi aliran dasar (*ground water flow*).

Sub DAS Garang yang mempunyai arti penting bagi kelestarian sistem tata air untuk Kota Semarang, diduga telah mengalami perubahan secara fisik, baik cara pengolahan atau pengelolaan tataguna lahannya. Oleh karena itu perlu diadakan analisis tentang pengaruh tataguna lahan terhadap erosi dan puncak banjir yang terjadi.

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menduga besaran erosi dan puncak banjir pada suatu DAS, adalah model *ANSWERS*, yaitu suatu model deterministik yang dikembangkan oleh Beasley dan Huggins di Indiana Amerika Serikat, untuk mensimulasikan DAS dengan parameter yang tersebar (distributif), yang dapat menghasilkan keluaran model untuk setiap satu kejadian hujan (*event model*). Disamping itu model *ANSWERS* yang dikombinasikan dengan program Frequence dapat digunakan untuk memprediksi laju erosi tahunan melalui skenario pengelolaan DAS.

Penggunaan model *ANSWERS* pada Sub DAS Garang yang telah dikalibrasi, menunjukkan bahwa tingkat erosi pada kondisi awal telah mencapai 218,23 ton/ha pertahun. Angka ini melebihi batas toleransi yang direkomendasikan oleh Departemen Kehutanan (Balai RLKT) sebesar 30 t/ha pertahun. Sehingga untuk mengembalikan kisaran angka tersebut, maka diperlukan perubahan tataguna lahan yang meliputi, permukiman dari 8,1 % menjadi 8,43 %, ladang dari 31,5 % menjadi 3,96 %, sawah tetap 28,2 %, hutan meningkat dari 18,8 % menjadi 60 % dan perkebunan menjadi habis. Dan dengan komposisi tataguna lahan tersebut, maka telah mempengaruhi penurunan puncak banjir pada Sungai Kali Garang dari 54,30 m³/dt menjadi 29,22 m³/dt.

ABSTRACT

Land or soil is one of the most valuable natural resources human have on the Earth. It is needed for accomodate all human activities and place for plants to grow. Population growth needs more lands both for housing and farming. These cause change in land use convention, which isnot only in the arable land but also on the conservation or protected land.

The quality of watershed depend on land use, type of soil, slope gradient, and channel width. Besides, hydrological parameters also play a very important role such as, rain fall that affects runoff, flood peak, erosion and ground water flow.

Garang sub watershed, the important water sources for Semarang city changed significantly in both its management and land use. Therefore it is very urgent to analyse the effects of land use on soil erosion and flood discharge.

Many models have been developed, one of them is ANSWERS, the model which is developed by Beasley and Huggins on Indiana, United States of America, can be used to estimate partial erosion rate, as well as flood discharge. The model in combination with Frequenc program can be use to predict annual erosion. However the model is not fully white box model, it needs to be calibrated before implemented on the outside areas

Application of calibrated ANSWERS to Garang Sub Watershed with condition found that the erosion rate is 218,23 t/ha/th. It is far higher than RLKT standard (maximum allowable erosion rate is 30 t/ha/th). To bring it back to the allowable erosion rate, the land use change composition in Garang Sub Watershed should be : Settlement: from 5,1 % to 8,43 %, Agricultural land: from 31,5% to 3,96 %, Farm land: 28,2 % and Forest: from 18,8 % to 60 % and all plantation change to forest. By this condition the discharge redused from 54,30 m³/dt to 29,22 m³/dt.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur senantiasa saya panjatkan kepada Allah karena hanya dengan petunjuk-Nya, Tesis ini dapat tersusun untuk diajukan kepada Tim Penguji. Tesis dengan judul “ Analisis Pengaruh Tataguna Lahan Terhadap Erosi dan Puncak Banjir pada Sub DAS Garang dengan Pendekatan Model Answers ” diajukan untuk memenuhi persyaratan Program Magister Teknik Sipil Universitas Diponegoro.

Pada kesempatan ini ingin saya menyampaikan ucapan terima kasih kepada yang terhormat, Bapak Prof.Ir.Joetata Hadihardaja, dan Bapak Dr.Ir.Suripin, M.Eng, selaku pembimbing sekaligus penguji dan Bapak Ir. Endro Soetrisno, MS, selaku pembimbing. Juga kepada yang terhormat Bapak Prof.Ir.R.Soediro, Ibu Ir.Sri Sangkawati, MS, dan Bapak Ir.Salamun, MT, selaku penguji.

Ucapan terima kasih juga saya sampaikan kepada Bapak Ir.M.Arief Ilyas, M.Si, dari Puslitbang Air Dep. Kimpraswil sebagai narasumber dan Bapak-Ibu Dosen Program Magister Teknik Sipil Undip, Pejabat/petugas Eks Kanwil Dep. PU. Jateng, Dinas PU. Pengairan Prop. Jateng, Bappeda Prop. Jateng, Balai Pengkajian dan Teknologi Pertanian Ungaran, Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat Bogor, Sub Balai Rehabilitasi Lahan dan Konservasi Tanah Jratunseluna, serta teman-teman seprofesi yang tidak bisa saya sebut satu persatu, atas informasi, saran, masukan dan bantuan yang diberikan, sehingga Tesis ini bisa selesai tersusun serta patut diajukan di depan Tim Penguji.

Tidak saya lupakan peran Isteri serta kedua anak saya Uis Ulyarora dan Ridha Sukma Hamim yang telah memberikan motivasi dan banyak berperan selama proses pendidikan ini.

Harapan saya, kiranya Allah Subhaanallaahu Wa Ta'ala. berkenan memberikan balasan kepada Bapak/Ibu/Saudara atas bimbingan, saran serta segala budi baik, yang diberikan kepada saya dalam penyelesaian Tesis ini.

Akhir kata, semoga tulisan ini bermanfaat.

Semarang, Juni 2001

Penyusun

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
RINGKASAN/ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR LAMBANG, NOTASI DAN SINGKATAN.....	xi
BAB I. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Pokok Permasalahan	3
1.2.1. Permasalahan Saat Ini	3
1.2.2. Pemecahan Masalah	3
1.2.3. Hipotesa Penelitian	4
1.3. Tujuan Penelitian	4
1.3.1. Tujuan	4
1.3.2. Lingkup Penelitian	4
1.4. Deskripsi Daerah Studi	5
1.4.1. Letak dan Luas	5
1.4.2. Alur Sungai	6
1.4.3. Kemiringan Lerang	6
1.4.4. Jenis Tanah	7
1.4.5. Tataguna Lahan	7

1.5. Pembatasan Permasalahan	8
1.5.1. Batasan Pokok	8
1.5.2. Batasan Pendukung	8

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengertian Hidrologi	9
2.2. Daerah Aliran Sungai	11
2.3. Tata guna Lahan	11
2.4. Aliran Permukaan dan Erosi	12
2.5. Sedimentasi	16
2.6. Pemodelan Daerah Aliran Sungai	17
2.6.1. Konsep Dasar	17
2.6.2. Penggunaan Model <i>ANSWERS</i>	21
2.6.2.1. Struktur Model <i>ANSWERS</i>	22
2.6.2.2. Data Masukan Model <i>ANSWERS</i>	23
2.6.2.3. Hubungan antar Komponen dalam Model <i>ANSWERS</i>	25
2.6.3. Perhitungan Debit Aliran	32

BAB III. METODOLOGI, ASUMSI DAN PROSEDUR PENELITIAN

3.1. Metode	33
3.2. Asumsi	33
3.3. Prosedur Penelitian	34
3.3.1. Deskripsi Data	34
3.3.2. Metode Pengumpulan Data	36
3.3.3. Penapisan dan Analisis Data	40
3.3.4. Pembuatan Peta Spasial	43
3.3.5. Pemasukan dan Proses Iterasi Data <i>ANSWERS</i>	45
3.3.6. Analisis Aliran Lahan (runoff)	45
3.3.7. Kalibrasi	46
3.4. Aplikasi Model	46

3.6. Penetapan Penggunaan Lahan	47
3.7. Analisis Sensitivitas	47
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1. Satu Kejadian Hujan (<i>Single Event</i>)	49
4.1.1. Hasil Model (Prediksi)	51
4.1.2. Hasil Observasi (Aktual)	52
4.2. Hasil Kalibrasi Keluaran Model	54
4.2.1. Koefisien Deterministik	54
4.2.2. Grafik Puncak Banjir dan Sedimen.....	55
4.3. Hasil Analisis Erosi (<i>Long Term</i>)	60
4.3.1. Hasil Keluaran Model.....	60
4.3.2. Hasil Pendekatan dengan Sedimentologi.....	60
4.4. Hasil Simulasi Skenario Penggunaan Lahan dengan Model <i>ANSWERS</i>	62
BAB V. KESIMPULAN, SARAN DAN REKOMENDASI	
5.1. Kesimpulan	64
5.2. Rekomendasi	65
DAFTAR PUSTAKA.....	67
LAMPIRAN	
A. Peta Topografi dan Peta Spasial.....	70
B. Analisis Durasi dan Intensitas Hujan.....	78
C. Format dan Hasil Keluaran Model.....	90
D. Wilayah Studi /Penelitian.....	104
E. Skenario Perubahan Tata guna Lahan.....	105
F. Analisis Sensitivitas.....	125
G. Perhitungan Sedimen Tahunan	129
H. Parameter Model.....	134

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1. Kemiringan Lereng	7
Tabel 1.2. Jenis Tanah	7
Tabel 1.3. Tataguna Lahan	8
Tabel 2.1. Penetapan Nilai T	15
Tabel 2.2. Klasifikasi Indeks Bahaya Erosi	16
Tabel 2.3. Pengaruh Luas DAS Terhadap SDR	17
Tabel 2.4. Kode Struktur Tanah	31
Tabel 2.5. Kode Permeabilitas Profil Tanah	31
Tabel 4.1. Ringkasan Keluaran Model (<i>Summary Report</i>) Tanggal 8 Maret 2001	49
Tabel 4.2. Ringkasan Keluaran Model (<i>Summary Report</i>) Tanggal 1 Maret 2001	50
Tabel 4.1. Ringkasan Keluaran Model (<i>Summary Report</i>) Tanggal 28 Februari 2001	50
Tabel 4.4. Kalibrasi Debit Satu Kejadian Hujan	54
Tabel 4.5. Parameter Hasi Kalibrasi Model	59
Tabel 4.6. Rencana Skenario Pengelolaan Sub DAS Garang	62

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Siklus Hidrologi	10
Gambar 2.2. Skema Penggolongan Sedimen	16
Gambar 2.3. Mekanisme Model	18
Gambar 2.4. DAS tersusun atas atas Elemen-elemen Bujur Sangkar	22
Gambar 2.5. Respon Unit dalam model <i>ANSWERS</i>	23
Gambar 2.6. Diagram Alur model <i>ANSWERS</i> tiap elemen	25
Gambar 2.7. Pemisahan Aliran Permukaan	30
Gambar 3.1. Bagan Alir Penelitian	39
Gambar 3.2. Arah derajat kemiringan lerang	44
Gambar 4.1. Grafik Debit Keluaran Model.....	51
Gambar 4.2. Grafik Konsentrasi Sedimen Keluaran Model	52
Gambar 4.3. Grafik Observasi Debit	53
Gambar 4.4. Grafik Observasi Sedimen	53
Gambar 4.5. Grafik Kalibrasi Debit Tanggal 8 Maret 2001	55
Gambar 4.6. Grafik Kalibrasi Sedimen Tanggal 8 Maret 2001	56
Gambar 4.7. Grafik Kalibrasi Debit Tanggal 28 Februari 2001	57
Gambar 4.8. Grafik Kalibrasi Sedimen Tanggal 28 Februari 2001.....	56
Gambar 4.9. Grafik Kalibrasi Debit Tanggal 1 Maret 2001	58
Gambar 4.10. Grafik Kalibrasi Sedimen Tanggal 1 Maret 2001.....	58

DAFTAR LAMBANG, NOTASI DAN SINGKATAN

Lambang dan Notasi

A	$[LT^{-1}]$	selisih laju infiltrasi maksimum dengan keadaan konstan
A_I	$[L^2]$	luas areal jatuhnya hujan
ASM	$[-]$	persentase kejenuhan
a	$[-]$	persentase bahan debu
b	$[-]$	kode strutur dan klasifikasi tanah
C	$[-]$	koefisien tanaman
CW	$[L]$	lebar saluran
c	$[-]$	kelas permeabilitas profil tanah
DD	$[L^{-1}]$	kerapatan drainase
DEP	$[-]$	potensial tampungan permukaan
$DETF$	$[MT^{-1}]$	penghancuran partikel tanah oleh limpasan permukaan
$DETR$	$[MT^{-1}]$	penghancuran tanah oleh air hujan
DF	$[L]$	kedalaman zona pengamatan infiltrasi
DR	$[L]$	akumulasi drainase
DUR	$[T]$	waktu hujan
Dy	$[-]$	jumlah hari dari suatu tahun
dr	$[LT^{-1}]$	perkultasi atau drainase rata-rata
F	$[L]$	akumulasi infiltrasi
FC	$[L]$	laju infiltrasi dalam keadaan konstan
FP	$[L]$	kapasitas lahan
$FILT$	$[LT^{-1}]$	kapasitas infiltrasi
FWA	$[-]$	fraksi dari permukaan tanah yang tertutup air
f	$[LT^{-1}]$	laju infiltrasi maksimum
$GWRF$	$[LT^{-1}]$	aliran bawah tanah
H	$[L]$	kedalaman air yang tersimpan di atas datum
HU	$[L]$	tinggi kekasaran maksimum
I	$[LT^{-1}]$	intensitas hujan

<i>IBE</i>	[-]	indeks bahaya erosi
<i>K</i>	[-]	erodibilitas
<i>M</i>	[-]	persentase pasir sangat halus dan debu
<i>MAXDEP</i>	[L]	tahanan permukaan maksimum
<i>N</i>	[-]	konstanta Manning's
<i>n</i>	[-]	koefisien kekasaran Manning's
<i>P</i>	[-]	faktor pengolahan lahan
<i>PER</i>	[-]	persentase penutupan permukaan penggunaan lahan
<i>PIT</i>	[LT ⁻¹]	volume intersepsi potensial
<i>Qap</i>	[MT ⁻¹]	laju aliran sungai sebelum hidrograf naik
<i>Q_i</i>	[L ² T ⁻¹]	aliran per satuan lebar
<i>QQ</i>	[L]	jumlah aliran di atas permukaan
<i>Qs</i>	[M]	hasil sedimen
<i>Qw</i>	[MT ⁻¹]	puncak laju aliran sungai
<i>QWA</i>	[L]	aliran permukaan (sungai) rata-rata tahunan
<i>Qq</i>	[MT ⁻¹]	selisih antara laju aliran sungai dengan aliran dasar
<i>R</i>	[LT ⁻¹]	intensitas hujan total
<i>RC</i>	[-]	koefisien kekasaran tanah
<i>R/L</i>	[-]	nisbah relief terhadap panjang DAS
<i>r</i>	[L]	jari-jari hidrolik
<i>S</i>	[-]	kemiringan saluran
<i>SDR</i>	[-]	<i>sediment delivery ratio</i>
<i>SL</i>	[-]	kemiringan lereng
<i>SS</i>	[L]	hasil sedimen tersuspensi
<i>St</i>	[L]	tampungan potensial tanah
<i>TF</i>	[L ² T ⁻¹]	potensial pengangkatan sedimen
<i>TP</i>	[-]	porositas total
<i>v</i>	[LT ⁻¹]	kecepatan aliran

Singkatan

AWLR	<i>Automatic Water Level Recorder.</i>
DAS	Daerah Aliran Sungai
RLKT	Rehabilitasi Lahan dan Konservasi Tanah.
ANSWERS	<i>Areal Nonpoint Source Watershed Environment Response Simulation.</i>
UGM	Universitas Gajah Mada.
Jratunseluna	Jragung Tuntang Serang Lusi dan Juwana.
Puspics	Pusat Pengembangan.
Puslitanak	Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat.
FAO	<i>Food and Agricultural Organization.</i>
Demplot	Demonstrasi Plotting.
Puslitbang	Pusat Penelitian dan Pengembangan.
Kimpraswil	Permukiman dan Prasarana Wilayah.
Dep.	Departemen.
ARR	<i>Automatic Rainfall Recorder.</i>
CIRAD	<i>Cntar for International Cooporation in Agricultural Research for Development.</i>
Dkk	Dan kawan-kawan.
IBT	Indeks Bahaya Erosi.
SDR	<i>Sedimen Deliveri Ratio.</i>
TP	<i>Totoal Porocity.</i>
FP	<i>Fild Plan.</i>
DF	<i>Depth of Filtrasi.</i>
ASM	<i>Antecedent Soil Moisture.</i>
PER	<i>Persent crop coverage.</i>
RC	<i>Roughness Coefficient.</i>
HU	<i>Heibht of U.</i>
FC	<i>Filtrasi in Constant.</i>
FWA	<i>Fraction Water Area.</i>
Ang	<i>Angel.</i>
DETR	<i>Detachment and Transportation Rainfall.</i>
DTO	<i>Detachment and Transportation Overland flow.</i>

TE	<i>Transportation of Filtrasi.</i>
USLE	<i>Univerdal Soil Loss Equation.</i>
PIT	<i>Potential Interception Total.</i>
USBR	<i>United Status Beurew Reclamation.</i>
FC	<i>Filtration Capacity.</i>
CF	<i>Crop Factor.</i>
DETF	<i>Detachment and Transportation Fraction.</i>

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Aktifitas yang dilakukan penduduk untuk menunjang hidupnya akan berakibat bertambah luasnya kawasan budi daya. Hal tersebut apabila tidak terkendali, akan bisa meluas sampai pada areal hutan yang merupakan kawasan penyangga, sehingga bisa menyebabkan rusaknya sistem tata air pada Daerah Aliran Sungai (DAS). Dan kondisi seperti ini akan dapat mempengaruhi eksistensi dan fungsi konservasi pada DAS tersebut, (Sub Balai RLKT, 1999).

Pola pembangunan berkelanjutan berwawasan lingkungan, sangat sesuai dengan tujuan pelestarian kawasan, dalam hal ini termasuk pelestarian daerah tangkapan (*Environment watershed development*). Sehingga pengelolaan DAS secara terpadu dan konseptual dinilai merupakan solusi yang sangat penting dan mendesak. Penerapan strategi konservasi tanah dan air dengan tinjauan terhadap tataguna lahan diartikan sebagai upaya merehabilitasi kemampuan serta daya dukung suatu DAS, (Hadihardaja, 1990).

Secara faktual sedimentasi pada daerah hilir Sungai Kaligarang telah mengalami peningkatan, yang divisualisasikan dengan terbentuknya endapan di kanan-kiri alur sungai tersebut. Hal ini diduga telah terjadi perubahan tataguna lahan pada daerah tangkapannya, sehingga perlu diupayakan langkah analisis pengelolaan, sebagai bentuk kegiatan untuk memperbaiki fungsi kawasan lindung, agar tidak terjadi erosi dan puncak banjir yang berlebihan pada daerah hilir (*lower area*).

Sub DAS Garang, yang merupakan salah satu bagian dari rangkaian DAS Kaligarang, dipandang memenuhi kriteria sebagai objek studi kasus atau penelitian, mengingat Sub DAS tersebut memiliki komponen baku yang sangat menentukan, antara lain adalah sebagai berikut:

UPT-PUSTAK-UNDIP

- Mempunyai luas sedang (kurang dari 10.000 ha).
- Diduga terjadi perubahan penggunaan lahan.
- Terdapat stasiun hidrologi dan hidrometri, berupa pos otomatis hujan ataupun manual dan pos duga air berupa *Automatic Water Level Recorder* (AWLR) pada alur sungainya yang merupakan *outlet* dari daerah tangkapan tersebut, (Beasley dan Huggins, 1981).

Strategi yang layak dilakukan dalam pemodelan, adalah dengan mengadakan pendekatan fenomena sifat fisik DAS. Hal ini diartikan sebagai parameter tersebar yang meliputi intensitas hujan, topografi, jenis tanah, vegetasi, dan lebar alur sungai yang merupakan unsur penting dari suatu model hidrologi, untuk menduga besarnya erosi serta puncak banjir. Termasuk di dalamnya adalah menguraikan proses fisik dengan sistem mekanistik berdasarkan fungsi ruang dan waktu, (Pawitan, 1995).

Penggunaan model empiris, dengan melakukan pendekatan parameter DAS secara homogen (*lumped parameter*) dirasa tidak realistis. Sedangkan proses pemodelan yang tidak dapat terdeteksi atau sering disebut metode kotak hitam (*black box model*) sudah tentu hasil keluarannya tidak mendekati kenyataan, (Ilyas, dkk., 1999).

Metode yang diharapkan dapat menjawab permasalahan penelaahan DAS, sekaligus meningkatkan unjuk kerja dalam rangka pengelolaan DAS, adalah model deterministik *ANSWERS*. Model ini patut dikemukakan, seiring dengan tuntutan kebutuhan akan metode pengelolaan suatu lingkungan DAS, yang terdiri dari berbagai unsur didalamnya berupa parameter hidrologi yang tersebar tidak seragam (distributif).

Model ini dapat melakukan pendugaaan terhadap karakteristik hidrologis, sebagai akibat perubahan fungsi lahan yang terjadi, seperti pada SUB DAS GARANG. Disamping itu, *ANSWERS* akan melakukan pendekatan analisis, serta mengadakan hubungan timbal balik antara *input* dan *output* nya, berdasarkan kaidah dan hukum fisika untuk setiap proses, dalam sistem sintetik tersebut, (Beasley dan Huggins, 1981).

Mekanisme metode *ANSWERS* dilakukan dengan mengadakan simulasi terhadap perubahan parameter hidrologinya, sehingga akan diperoleh hasil analisis dari berbagai keluaran model berupa laju erosi atau puncak banjir pada satu kejadian hujan (*single event*). Selanjutnya dalam upaya pengelolaan suatu DAS akan dilakukan skenario penggunaan lahan yang diarahkan pada pengembangan fungsi hutan.

1.2. Pokok Permasalahan

1.2.1. Permasalahan Saat Ini

Dugaan adanya perubahan penggunaan fungsi lahan pada Sub DAS Garang, akan menyebabkan terjadinya degradasi kualitas DAS, dengan implikasi timbulnya perubahan perilaku aliran dan eksistensi morfologi pada alur Sungai Kaligarang. Untuk mengetahui seberapa besar pengaruh tataguna lahan, terhadap erosi dan puncak banjir yang terjadi pada sub DAS tersebut, maka perlu dilakukan suatu analisis yang sekaligus ingin dicapai suatu konsep tataguna lahan berdasarkan proses simulasi yang direncanakan dalam upaya pengelolaan DAS.

1.2.2. Pemecahan Masalah

Untuk menduga perubahan hidrologis, sebagai akibat berubahnya fungsi lahan pada Sub DAS Garang, maka langkah yang akan dilakukan adalah, dengan menggunakan pendekatan model distribusi *ANSWERS* (*Areal Nonpoint Source Watershed Environment Response Simulation*).

Konsep dasar yang diterapkan pada model ini, adalah bahwa Sub DAS Garang yang terdiri dari rangkaian titik-titik, mempunyai hubungan fungsional antara tataguna lahan dan parameter hidrologi, yang dapat mempengaruhi besaran erosi dan puncak banjir.

Pada setiap titik tersebut, dianalogikan sebagai elemen bujur sangkar yang ditetapkan sebagai suatu luasan, memiliki nilai parameter seragam (*homogen*) dan hal ini sangat lazim, oleh karena nilai parameter yang dikenali merupakan cerminan dari kondisi di lapangan yang sebenarnya.

Model ini merupakan model satu kejadian hujan (*event model*), dan dikatakan layak, apabila hasil keluaran yang dibandingkan dengan data hasil observasi, berupa puncak banjir atau kandungan sedimen, berindikasi mendekati kenyataan, (Pawitan, 1995).

1.2.3. Hipotesa Penelitian

Setiap perubahan tataguna lahan pada suatu DAS akan berpengaruh terhadap puncak banjir dan erosi, sebagai sumber kandungan sedimen (*sediment concentration*) yang terdapat pada debit aliran sungainya.

1.3. Tujuan Penelitian

1.3.1. Tujuan

Penelitian ini, bertujuan untuk mengetahui pengaruh tataguna lahan terhadap erosi dan puncak banjir akibat satu kejadian hujan, pada Sub DAS Garang dengan menggunakan metode *ANSWERS*. Sedangkan dalam rangka pengelolaan DAS, dapat diketahui erosi tahunan selama kurun waktu tertentu, untuk mendapatkan suatu konsep pengelolaan DAS dengan cara melakukan skenario perubahan tataguna lahan.

1.3.2. Lingkup Penelitian

Orientasi yang dilakukan pada penelitian ini adalah meliputi:

- 1). Pengamatan sifat fisik Sub DAS Garang, khususnya meliputi tataguna lahan, karakteristik tanah, jaringan alur sungai dan kemiringan lereng, yang merupakan parameter pengendali dan dapat mempengaruhi besaran terhadap laju erosi dan puncak banjir akibat satu kejadian hujan (*single event*).

- 2). Melakukan analisis terhadap intensitas hujan yang jatuh pada Sub DAS Garang, baik untuk satu kejadian hujan (dikontrol dengan berbagai kejadian) atau hujan yang terjadi selama periode tertentu dan merupakan data historis hujan (*long term*).

Selanjutnya dapat dilakukan tahapan lingkup kegiatan penelitian, yang terdiri dari langkah-langkah sebagai berikut:

- a). Pengumpulan data.
 - b). Pembuatan peta spasial.
 - c). Analisis data.
 - d). Pencarian harga parameter awal.
 - e). Simulasi dengan model *ANSWERS*, yang meliputi:
 - Pemasukan data
 - Proses iterasi (*running*)
 - f). Kalibrasi antara keluaran model dengan hasil observasi di lapangan.
- 3). Untuk pengelolaan DAS, setelah tahap kalibrasi selesai, selanjutnya dilakukan kegiatan sebagai berikut:
 - 1). Analisis sensitifitas
 - 2). Analisis data pada kurun waktu tertentu.
 - 3). Penetapan skenario konservasi yang dipilih terhadap hasil kalibrasi.

1.4. Deskripsi Daerah Studi

Lokasi penelitian yang digunakan sebagai daerah studi, adalah Sub Daerah Aliran Sungai (Sub DAS) Garang, dengan luas 7.450 ha yang mempunyai karakteristik sebagai berikut:

1.4.1. Letak dan Luas

Sub DAS Garang, merupakan bagian dari rangkaian DAS Kaligarang (19.575ha), terletak di Kecamatan Ungaran dan Kecamatan Bergas Kabupaten Semarang.

Sub DAS ini membentang ke arah utara selatan, di sebelah barat daya Kota Ungaran dan berada pada ketinggian antara 200 sampai dengan 2.100 meter, di atas permukaan laut dengan luas 7.450 ha, (Sub Balai RLKT Jratunseluna, 1999, hasil rekayasa Peta Spasial). Adapun letak lokasi penelitian tersebut seperti terlihat pada Gambar 1.D (Lampiran D).

1.4.2. Alur Sungai

Jaringan alur sungai pada Sub DAS Garang, meliputi, Sungai Siwarung, Sungai Kalong, Sungai Pakulon Sungai Jengkalan, Sungai Sipat, Sungai Pangus, Sungai Pengkolan dan Sungai Kaligarang sebagai alur utama yang mempunyai panjang 17,9 km, serta lebar 30 m pada lokasi *outlet*, (Sub Balai RLKT Jratunseluna, 1999 dan Puspics Fakultas Geografi UGM, 1999), sebagaimana terlihat pada Gambar A.8. (Lampiran A)

1.4.3. Kemiringan Lereng

Kawasan Sub DAS Garang, mempunyai satuan morfologi dan bentuk topografi yang bervariasi, mulai dari datar, landai, agak curam, curam dan sangat curam, dengan didominasi adanya lahan datar (kemiringan 0 - 8 %) seluas 2.930 ha, atau 39,33 % (Sub Balai RLKT Jratunseluna, 1999).

Dengan kondisi lahan yang dominan datar, cenderung penggunaannya kearah usaha pertanian, sehingga apabila pengelolannya tidak memperhatikan kaidah konservasi, maka akan menjadi salah satu faktor penyebab terganggunya ekosistem serta tata air yang ada. Terutama terhadap faktor penutup lahan, yang terdapat pada lereng agak curam atau sangat curam, yang berfungsi sebagai kawasan lindung, bisa berubah menjadi lahan usaha.

Adapun pembagian kelas kemiringan lahan pada Sub DAS Garang, secara deskriptif dapat ditampilkan seperti pada Tabel 1.1 dan Gambar A.1 pada lampiran A.

Tabel 1.1. Kemiringan Lereng Sub DAS Garang

No	Kemiringan lereng (%)	Luas (ha)	Persentase (%)
1	0 - 8	2.930	39,33
2	8 - 15	1.183	15,88
3	15 - 25	1.290	17,32
4	25 - 45	853	11,45
5	> 45	1.193	16,02
	Jumlah	7.450	100

Sumber : Sub Balai RLKT Jatunseluna (1999)

1.4.4. Jenis Tanah

Berdasarkan peta tanah yang dibuat oleh Sub Balai RLKT Jratunseluna (1995), yang dikutip dari Puslitanak Bogor (1986), bahwa jenis tanah pada Sub DAS Garang, meliputi empat jenis, yaitu latosol coklat tua kemerahan, latosol coklat, mediteran coklat tua dan andosol coklat, dapat dilihat seperti pada Tabel 1.2 dan Gambar A.3.(Lampiran A).

Tabel 1.2. Jenis Tanah Sub DAS Garang

No	Jenis Tanah	Luas (ha)	Persentase (%)
1	Latosol coklat tua kemerahan	4.971	66,72
2	Latosol coklat	1.316	17,66
3	Mediteran coklat tua	26	0,35
4	Andosol coklat	1.138	15,27
	Jumlah	7.450	100

Sumber : Sub Balai RLKT Jratunseluna (1999)

1.4.5. Tataguna Lahan

Sesuai dengan peta penggunaan lahan yang dikeluarkan oleh Sub Balai Rehabilitasi Lahan dan Konservasi Tanah Jratunseluna (1999), bahwa penggunaan lahan yang ada meliputi permukiman, tegalan, sawah, hutan dan perkebunan dengan komposisi seperti Tabel 1.3 dan Gambar A.5 (Lampiran A).

Tabel 1.3. Tataguna Lahan Sub DAS Garang

No	Penggunaan Lahan	Luas (ha)	Persentase (%)
1	Pemukiman	603	8,1
2	Tegalan	2.347	31,5
3	Sawah	2.101	28,2
4	Hutan	1.401	18,8
5	Perkebunan	998	13,4
	Jumlah	7.450	100

Sumber : Sub Balai RLKT Jratunseluna (1999)

1.5. Pembatasan Permasalahan

1.5.1. Batasan Pokok

Permasalahan yang dianalisis dalam penelitian ini, adalah pengaruh tataguna lahan terhadap erosi dan puncak banjir, pada kejadian hujan tanggal 8 Maret tahun 2001 dan dikontrol terhadap kejadian hujan yang lain di kawasan Sub DAS Garang, dengan pendekatan (penggunaan) model *ANSWERS*. yang mensimulasikan satu kejadian hujan (*single event*) terhadap karakteristik Sub DAS Garang seluas 7.450 ha. Namun untuk mengetahui besarnya erosi tahunan, pada tujuan pengelolaan DAS, maka hasil kalibrasi model tersebut diaplikasikan terhadap data hujan pada kurun waktu 15 tahun (1985-2000). Dan sebagai kontrol terhadap hasil erosi tahunan, dilakukan pula analisis dengan pendekatan sedimentologi.

1.5.2. Batasan Pendukung

Penggunaan peta topografi dengan skala 1:50.000 merupakan skala yang sudah diperhitungkan terhadap kapasitas sel yang tersedia di dalam model (1000 elemen) dengan pertimbangan apabila diperbesar, maka hasil tampilannya tidak representatif. Sedangkan data yang dikutip pada saat penelitian dianggap valid, dan tidak diprediksi terhadap dampak sosial ekonomi masyarakat pada daerah studi, termasuk untuk kejadian pada saat yang akan datang oleh kebijakan pemerintah ataupun pengaruh dari unsur lain.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

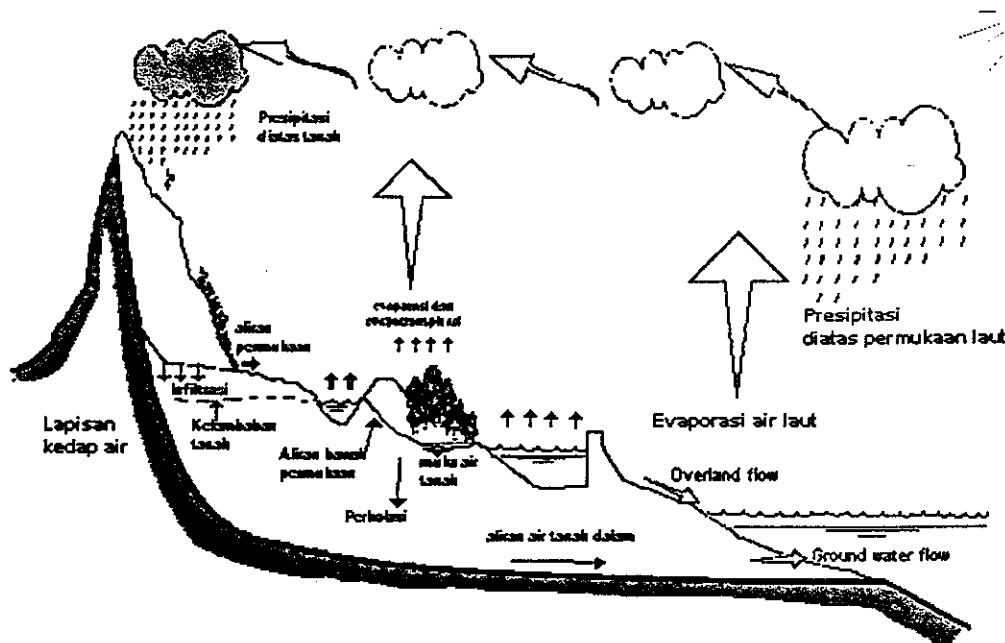
2.1. Pengertian Hidrologi

Hidrologi, merupakan ilmu yang mempelajari peredaran air di bumi, baik berupa uap yang ada di atmosfer, atau gumpalan es dan bentuk cair yang ada di permukaan bumi dan di bawah permukaan tanah, berupa air permukaan, seperti laut, sungai dan danau, atau air tanah dan akuifer yang berada jauh di dalam tanah.

Peredaran air tersebut, merupakan suatu proses terjadinya sistem hidrologi, dari rangkaian subsistem fenomena alam, yang dikenal dengan daur hidrologi. Yaitu merupakan siklus, yang dimulai dari proses pemanasan air, pada permukaan bumi, menjadi uap air yang naik ke atmosfer, membentuk menjadi awan. Dan akibat dorongan angin, maka awan tersebut bergerak, sehingga pada kondisi suhu yang semakin rendah, akan terjadi kondensasi, kemudian jatuh dan terurai menjadi hujan (*presipitasi*).

Hujan yang jatuh pada tanaman tertahan oleh tajuk vegetasi (*intersepsi*), sebagian menguap (*evaporasi*), dan sebagian jatuh menetes ke bumi atau melalui batang tanaman. Hujan yang jatuh di permukaan bumi, sebagian meresap ke dalam tanah (*infiltrasi*) dan setelah jenuh, air mengalir di permukaan (*surface flow*), kemudian masuk ke badan air (*over land flow*) dan menguap (*evaporasi*), sedangkan oleh proses biologis tanaman, daun yang disinari oleh matahari menguapkan air ke atmosfer (*transpirasi*). Air yang meresap dan tersimpan di dalam lapisan tanah (*sub surface water*), lambat laun mengalir menuju ke badan air (*inter flow*), sebagian masuk lebih dalam (*perkolasi*), dan terperangkap pada lapisan kedap air, menjadi air tanah dalam (*ground water*) dan sebagian mengalir menuju badan air (*base flow*), (Sosrodarsono dan Takeda, 1987).

Untuk melengkapi ungkapan secara visual, terhadap proses pergerakan rotasi tersebut, selengkapnya dapat disajikan gambar seperti terlihat dibawah ini (Gambar 2.1).



Gambar 2.1. Siklus Hidrologi
(Chow, dkk., 1988)

Sesuai dengan kaidah fisika, adanya Hukum Kekekalan Massa, Kekekalan Momentum dan Kekekalan Energi, bahwa jumlah air yang berada di planet bumi adalah tetap dan secara dinamik bentuknya akan berubah sesuai dalam ruang dan waktu, sehingga akan terjadi suatu sistem yang sangat kompleks dan berkaitan serta membentuk umpan balik yang saling berinteraksi secara holistik, (Haan, dkk., 1982).

Untuk mendekati fenomena tersebut, maka telah dikembangkan suatu analisis sistem hidrologi dengan penggunaan model, yang merupakan penyederhanaan dari kenyataan alam yang sebenarnya dan dari setiap model hidrologi, memiliki karakteristik tersendiri, serta memerlukan perlakuan batasan-batasan yang diperlukan agar sesuai dengan kelayakan yang dihasilkan.

Penampakan suatu DAS, merupakan komponen dari tata air yang mempunyai variasi parameter hidrologi tersebar (distributif), seperti karakteristik tanah, kemiringan lereng, tipe saluran, tataguna lahan dan intensitas hujan, yang mempengaruhi infiltrasi.

Dalam kondisi yang demikian, harus dapat disimulasikan dengan suatu model hidrologi distributif (tersebar) yang dapat mengontrol keragaman parameternya, (Beasley dan Huggins, 1981).

2.2. Daerah Aliran Sungai

Menurut Sri-Harto (1993), DAS merupakan daerah tangkapan yang semua airnya mengalir kedalam suatu alur sungai, daerah ini umumnya dibatasi oleh batas topografi yang jelas dan ditetapkan berdasar aliran permukaan.

Daerah Aliran Sungai merupakan rangkaian kesatuan biologis dan hampir semua pengelolaan DAS, mempunyai pengaruh pada ekosistemnya, sehingga masalah yang terjadi pada bagian hulu, seperti larutan bahan organik (*chemicals pollutant*), akan dapat mempengaruhi eksistensi kawasan pada bagian hilir, (Susanto, 1994).

Menurut Sinukaban (1995), pemanfaatan sumber daya alam DAS yang tidak memperhatikan kemampuan dan kelestarian lingkungan, akan terjadi kerusakan ekosistem dan tata guna air. Oleh karena itu dalam membuat perencanaan pengelolaan DAS, pilihan teknologi yang tepat adalah berlandaskan kaidah-kaidah konservasi.

Karakteristik DAS yang pengaruhnya dominan, meliputi struktur batuan dan geologi, morfometri DAS (bentuk dan luas DAS), tanah, vegetasi dan tataguna lahan, (Sosrodarsono dan Takeda. 1987).

2.3. Tataguna Lahan

Menurut Arsyad (1989), sifat-sifat lahan (*land characteristics*) merupakan suatu keadaan unsur-unsur lahan yang dapat diukur, dan sifat lahan tersebut akan dapat menentukan dan mempengaruhi perilaku lahan seperti ketersediaan air, peredaran udara, perkembangan akar, kepekaan erosi, ketersediaan unsur hara dan sebagainya, sehingga perilaku lahan sangat menentukan pertumbuhan vegetasi yang disebut dengan kualitas lahan.

Evaluasi lahan, merupakan salah satu komponen penting dalam proses perencanaan penggunaan lahan (*land use planning*) yang hasilnya dapat memberikan alternatif penggunaan lahan dan batas-batas kemungkinan penggunaannya, serta tindakan pengelolaan yang diperlukan agar lahan dapat berfungsi secara lestari, (FAO, 1976 dalam Arsyad, 1989).

2.4. Aliran Lahan dan Erosi

Aliran lahan (*runoff*), merupakan aliran air yang terjadi di permukaan dan di dalam tanah sebagai akibat adanya hujan, dan selanjutnya mengalir oleh pengaruh gaya gravitasi menuju tempat yang paling rendah, seperti saluran dan badan air yang lain, (Chow, dkk., 1988) dan selanjutnya dapat dikategorikan dalam tiga jenis yakni :

- *Surface runoff* : Aliran air di atas permukaan tanah.
- *Sub surface runoff* : Aliran air di bawah lapisan permukaan tanah.
- *Ground water runoff* : Aliran air di dalam tanah.

Dari ketiganya, jenis *runoff* yang paling berpengaruh terhadap debit aliran adalah *surface runoff* dan faktor yang mempengaruhi aliran di atas permukaan tanah meliputi :

a. Faktor Iklim.

- 1). Presipitasi, yang meliputi tipe, durasi, intensitas dan frekuensi.
- 2). Transpirasi dan intersepsi, yang tergantung pada jenis vegetasi, komposisi, tingkat pertumbuhan, kerapatan dan tajuk vegetasi.
- 3). Evaporasi yang dipengaruhi oleh temperatur, angin, tekanan atmosfer, bentuk permukaan bumi (topografi) dan luas badan air.

b. Faktor Fisiografis

- 1). Faktor geometrik, yang dipengaruhi dimensi luas, bentuk lereng, orientasi komposisi, elevasi atau ketinggian dan kerapatan sungai.
- 2). Faktor fisis, yang meliputi tataguna lahan, penutupan lahan, infiltrasi, tipe tanah, permeabilitas dan topografi.

Erosi merupakan akibat interaksi dari faktor iklim, tanah, topografi, vegetasi dan aktifitas manusia terhadap sumber daya alam. Dan pada daerah beriklim tropik basah, terjadinya erosi yang dominan disebabkan oleh adanya kekuatan air hujan, sehingga mengakibatkan hilangnya lapisan tanah atas (*top soil*) yang subur dibanding lapisan dibawahnya, sebagai tempat tumbuhnya tanaman dan penyerap serta penahan air hujan, (Seta, 1987).

Menurut Sarief (1985), erosi merupakan suatu proses hilangnya lapis permukaan tanah (*top soil*) yang dilepaskan (*detached*) kemudian dipindahkan ke tempat lain oleh kekuatan aliran air, angin atau gravitasi. Pada peristiwa erosi, terjadi pelepasan butir tanah dari permukaannya, sehingga menyebabkan merosotnya produktifitas, daya dukung dan kualitas lingkungan hidup.

Secara deskriptif, Kartasapoetra (1985) mengemukakan bahwa proses erosi tanah oleh air meliputi tiga tahap (berlangsung dalam keadaan normal), yaitu :

- Tumbukan butir air hujan, mampu memecahkan agregat tanah (bongkahan massa tanah), sehingga menjadi partikel yang lebih kecil dan sekaligus pelepasan.
- Pengangkutan atau penghanyutan partikel berbutir halus, oleh aliran permukaan.
- Pengendapan (sedimentasi) di lahan, di dasar sungai dan badan air lainnya.

Bentuk erosi yang disebabkan oleh air dan menimbulkan erosi permukaan (*surface erosion*), dapat meliputi erosi percik (*splash erosion*), erosi lembar (*sheet erosion*) dan erosi alur (*rill erosion*) selanjutnya erosi alur berkembang menjadi erosi parit (*gully erosion*).

Thompson (1957, dalam Arsyad, 1989) menetapkan nilai T, yaitu kehilangan tanah akibat erosi yang masih dapat dibiarkan (ditolerir) pada sebidang tanah atau disebut laju erosi. Laju erosi ini dinyatakan dalam ton perhektar pertahun (ton/ha/th) atau milimeter pertahun (mm/th). Satuan tersebut diperoleh dari bentuk konversi sebagai berikut :

1). $\text{ton} / \text{ha} / \text{thn}$

$$2). \frac{\text{ton} / \text{ha} / \text{thn} .}{\text{ton} / \text{m}^3 \left(\begin{array}{c} \text{berat} \\ \text{isi} \end{array} \right)} = \text{mm} / \text{thn} .$$

Apabila berat isi tanah diambil $1,2 \text{ ton/m}^3$, maka $1 \text{ ton/ha th} = 0,083 \text{ mm/th}$.

Besarnya nilai T dipengaruhi beberapa faktor antara lain iklim, kedalaman tanah terhadap substratum, bentuk substratum (merupakan bahan hancur batuan), permeabilitas tanah lapisan bawah dan sifat tanah yang mempengaruhi tumbuhnya tanaman.

Dengan kriteria yang dipergunakan oleh Thompson (1957, dalam Arsyad, 1989), pada penggunaan nisbah nilai untuk berbagai sifat tanah dan substratum, maka nilai T seperti tertera pada Tabel 2.1, disarankan untuk dapat dipergunakan sebagai penetapan nilai T pada jenis tanah di Indonesia. Dan merupakan batas arahan untuk kehilangan tanah akibat erosi, menurut Departemen Kehutanan dan Perkebunan adalah sebesar 30 ton/ha/tahun (Balai Rehabilitasi Lahan dan Konservasi Tanah Wilayah V, 1999).

Tabel 2.1. Penetapan Nilai T untuk tanah di Indonesia

No.	Sifat Tanah dan Substratum	Nilai T (mm/tahun)
1	Tanah dangkal di atas batuan.	0
2	Tanah sangat dangkal di atas batuan telah melapuk (tidak terkonsolidasi).	0,4
3	Tanah dangkal di atas batuan telah melapuk.	0,8
4	Tanah dengan kedalaman sedang di atas bahan telah melapuk.	1,2
5	Tanah yang dalam dengan lapisan bawah yang kedap air, di atas substrata yang telah melapuk.	1,4
6	Tanah yang dalam dengan lapisan bawah dengan permeabilitas lambat di atas substrata yang melapuk.	1,6
7	Tanah yang dalam dengan lapisan bawah dengan permeabilitas sedang di atas substrata yang telah melapuk.	2
8	Tanah yang dalam dengan lapisan bawah yang permeabel di atas substrata yang telah melapuk.	2,5

Sumber : Arsyad, 1989.

Evaluasi terhadap proses terjadinya erosi, perlu dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui seberapa besar potensi atau tingkat bahaya erosi yang terjadi, pada suatu kawasan atau bidang tanah, serta untuk mendeteksi besarnya indeks bahaya erosi, yang telah terjadi. Tingkat bahaya erosi yang terjadi dinyatakan dalam Indeks Bahaya Erosi (IBE) dan didefinisikan sebagai berikut :

$$\text{Indeks Bahaya Erosi} = \frac{\text{Kehilangan Tanah (ton/ha/tahun)}}{T \text{ (ton/ha/tahun)}} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana nilai T adalah merupakan suatu jumlah kehilangan tanah yang disebabkan oleh terjadinya suatu proses pelarutan pada permukaan tanah akibat tumbukan dan aliran air hujan yang masih dapat diberikan toleransi.

Selanjutnya batasan tingkat bahaya erosi dapat diklasifikasikan seperti pada Tabel 2.2. dibawah ini.

Tabel 2.2. Klasifikasi Indeks Bahaya Erosi

Nilai Indeks Bahaya Erosi	Kriteria
< 1,0	Rendah
1,01 - 4,0	Sedang
4,01 - 10,0	Tinggi
>10,01	Sangat Tinggi

Sumber : Arsyad, 1989

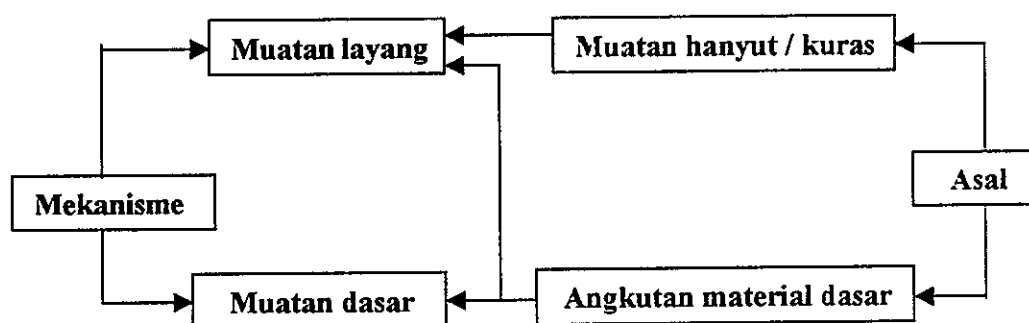
2.5. Sedimentasi

Sedimentasi adalah proses pelepasan, pengangkutan dan pengendapan tanah yang tererosi dan setiap penyebab sedimentasi merupakan hasil erosi yang dipercepat, terutama erosi permukaan dan erosi parit. Faktor yang mempengaruhi hasil sedimentasi dalam suatu DAS terdiri dari jumlah dan intensitas hujan, formasi geologi, jenis tanah, tataguna lahan, topografi, aliran permukaan dan karakteristik sedimen, (White,1977).

Selanjutnya Breussers (1979), membagi sedimen berdasarkan asal terjadinya adalah sebagai berikut :

- 1). Angkutan material dasar (*bed material transport*) dimana material nya berasal dari alur itu sendiri, baik angkutan dasar (*bed load*) maupun angkutan layang (*suspended load*) ditentukan oleh kondisi dan karakteristik dari dasar saluran.
- 2). Muatan hanyut (*wash load*), dimana materialnya datang dari luar saluran (erosi) dan tidak mempunyai hubungan langsung dengan kondisi setempat.

Dan dibawah ini disajikan skema penggolongan sedimen (Gambar 2.2).



Gambar 2.2. Skema Penggolongan Sedimen (Breussers,1979)

Nisbah jumlah sedimen yang terbawa oleh aliran dari suatu daerah terhadap jumlah tanah yang tererosi pada daerah disebut nisbah penglepasan sedimen (*Sediment Delivery Ratio*), dan salah satu formulasi yang digunakan, (Arsyad, 1989).

$$SDR = \frac{\text{Jumlah sedimen yang terbawa}}{\text{Jumlah tanah yang tererosi potensial}} \dots \dots \dots (2)$$

Nilai SDR, merupakan fungsi dari luas daerah tangkapan seperti ditunjukkan pada Tabel 2.3 di bawah ini.

Tabel 2.3. Pengaruh Luas DAS terhadap SDR

No.	Luas DAS (km ²)	SDR (%)
1	0,1	53
2	0,5	39
3	1	35
4	5	27
5	10	24
6	50	15
7	100	13
8	200	11
9	500	8,5
10	26000	4,9

Sumber : Arsyad, 1989

2.6. Pemodelan Daerah Aliran Sungai

2.6.1. Konsep Dasar

Menurut Ward (1971, dalam Arsyad, 1989), pengelompokan Pemodelan DAS dikenal tiga jenis utama yaitu model **Fisik**, model **Analogi** dan model **Digital**.

Model fisik termasuk model skala yang menampilkan bentuk visual yang meniru aslinya dengan ukuran lebih kecil atau dikenal dengan demonstrasi plotting (demplot).

Model analogi, merupakan penerapan kaidah hidrologi, yang penyusunannya dengan menggunakan rangkaian resistor-kapasitor, untuk memecahkan persamaan diferensial yang mewakili proses terjadinya fenomena alam.

Model digital, sudah merubah setiap unsur kejadian pada DAS tersebut dari data lapangan menjadi data spasial berupa angka (digit). Model digital terbagi dalam tiga jenis yaitu :

1). Stokastik

Merupakan model yang memperhitungkan proses stokastik atas pengembangan urutan sintetik data, yang berasal dari sifat statistik dan berguna untuk menghasilkan urutan masukan bagi model deterministik dan model parametrik, jika data yang tersedia merupakan pengamatan pendek.

2). Parametrik (Empirik)

Model parametrik, didasarkan atas penggunaan hubungan yang secara statistik nyata antara peubah-peubah (parameter) yang dianggap penting dari sejumlah data yang tersedia. Di dalam proses analisis telah dikenal tiga tipe yakni :

a). *Black Box* (Kotak Hitam)

Proses simulasi yang dilakukan, berdasarkan pendekatan suatu fungsi parameter yang ada, tanpa mengetahui mekanisme fisik yang terjadi, sehingga keluaran yang dihasilkan, berdasarkan masukan yang diperlukan, tidak diketahui proses yang dilakukan, apakah sudah memenuhi atau tidak sama sekali. Dan sebagai ilustrasi selanjutnya dapat disajikan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Mekanisme model.

b). *Grey Box* (Kotak Kelabu)

Proses yang dilakukan, berdasarkan korelasi antar variabel dominan, yang merupakan fungsi dari suatu keluaran, fungsi tersebut adalah parameter-parameter yang terjadi di alam ini. Dengan menggunakan persamaan regresi, maka tingkat kepercayaan dari korelasi antar variabel tersebut dapat diketahui, sebagaimana peruntukan yang diinginkan seperti, sedimen atau debit aliran. Beberapa formulasi yang dapat ditampilkan antara lain:

(1). Douglas (1968, dalam Arsyad 1989).

$$\text{Log SS} = -8,73 + 3,81 \log QWA - 1,54 \log R/L + 4,82 \log DD \dots\dots\dots (3)$$

dimana :

- SS = hasil sedimen tersuspensi (mm³/km²).
- QWA = aliran permukaan (sungai) rata-rata tahunan (mm).
- R/L = nisbah relief terhadap panjang DAS (kaki/mil).
- DD = kerapatan drainase (kaki/mil²).

(2). Walling (1974, dalam Arsyad 1989).

$$\begin{aligned} \text{Log } Q_s = & -1,1402 - 0,0542 \text{ DUR} - 0,7764 \log Q_w + 1,3735 \log Q_q + 0,9092 \\ & \log QQ - 0,4961 \log Q_{ap} + 0,209 \text{ DY} \dots\dots\dots (4) \end{aligned}$$

dimana :

- Q_s = hasil sedimen (kg).
- DUR = waktu hujan (jam).
- Q_w = puncak laju aliran sungai (liter/det).
- Q_q = selisih antara laju aliran sungai dengan aliran dasar (*base flow*) (liter/det).

QQ	=	jumlah aliran di atas permukaan tanah (mm).
Qap	=	laju aliran sungai sebelum hidrograf naik (liter/det).
DY	=	jumlah hari dari suatu tahun.
	=	$\sinus \text{ (radians) } 2^{\text{TM}} d / 365$
d	=	hari (dihitung sejak 1 Januari)

c). *White Box* (kotak Putih)

Seluruh unsur yang merupakan satu kesatuan prosedur, dimulai dari masukan kemudian proses dan selanjutnya hasil atau keluaran, dilakukan dengan prosedur dan tingkat kepastian yang tinggi, tanpa ada komponen acak, dan tidak mengandung toleransi kesalahan perhitungan atau disebut akurat.

3). Deterministik

Proses simulasi model yang dilakukan, didasarkan atas persamaan matematik untuk menjelaskan proses yang berperan dalam model, dengan kenyataan mekanisme fisik yang sebenarnya yang terjadi di lapangan, serta digunakan hukum dan kaidah-kaidah fisika, dengan memperhitungkan hukum kontinuitas atau konservasi massa dan energi.

Model deterministik, dibedakan dalam dua sistem pendekatan yakni parameter seragam (*lumped parameter*) dan parameter tersebar (*distributed parameter*).

a). *Lumped Parameter*.

Menganggap bahwa karakteristik suatu DAS, secara keseluruhan mempunyai parameter yang sama dan seragam (homogen).

b). *Distributed Parameter*.

Mengasumsikan bahwa suatu DAS, terdiri dari susunan berbagai parameter yang tidak seragam dan tersebar secara tidak merata di seluruh permukaannya (heterogen).

2.6.2. Penggunaan Model *ANSWERS*

Model *ANSWERS* (*Areal Nonpoint Source Watershed Environment Response Simulation*) yang pertama kali dikembangkan oleh Beasley dan Huggins (1981), didesain untuk mensimulasikan sifat dan karakteristik DAS yang tidak seragam dari tujuan perencanaan dan pengelolaan DAS.

Model distribusi DAS, dipengaruhi oleh variabel ruang (spasial), parameter-parameter pengendali seperti topografi, tanah, tataguna lahan, alur sungai dan parameter hidrologinya yang selanjutnya dilakukan dalam suatu algoritma komputasi.

Ada beberapa pertimbangan, mengapa digunakan model *ANSWERS*, antara lain keuntungan dari model ini adalah sebagai berikut:

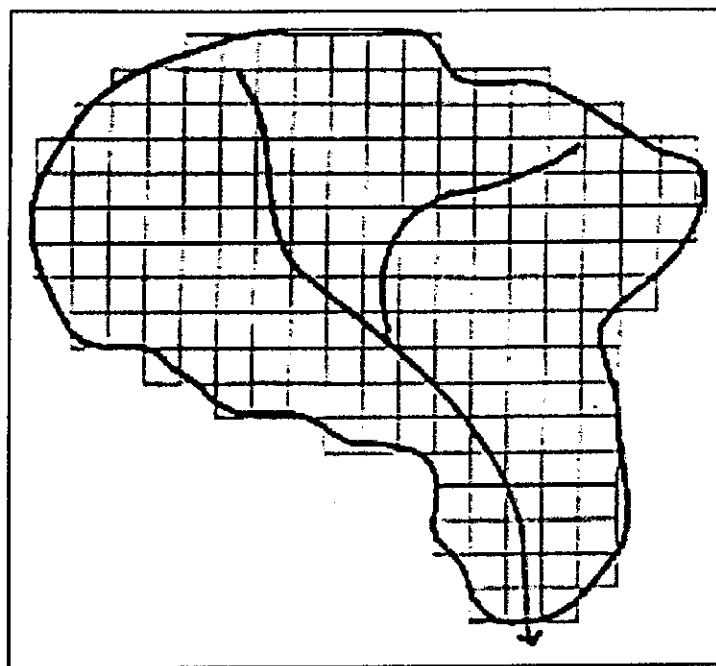
- Dapat memberikan keluaran sekaligus, baik berupa debit aliran pada sungai, kehilangan tanah akibat erosi, dan sedimentasi.
- Mampu memproses kerja simulasi (skenario) secara serentak dalam berbagai kondisi DAS.
- Menganalisis parameter terdistribusi secara sensitif sehingga dapat menghasilkan simulasi akurat terhadap sifat fisik DAS.
- Untuk penggunaan data historis yang dibagi dalam 35 kelas, sehingga proses perhitungannya (*running*) lebih sederhana.

Sedangkan kelemahan dari model ini antara lain:

- Untuk DAS berukuran besar (lebih dari 100 km²) hasilnya tidak akurat dan cukup baik untuk DAS ukuran sedang (kurang dari 10.000 ha).
- Merupakan model *event* (bukan kontinyu), sehingga pendekatan keluarannya hanya sekali atau pada kurun waktu tertentu dan tidak untuk selamanya.

2.6.2.1. Struktur Model *ANSWERS*

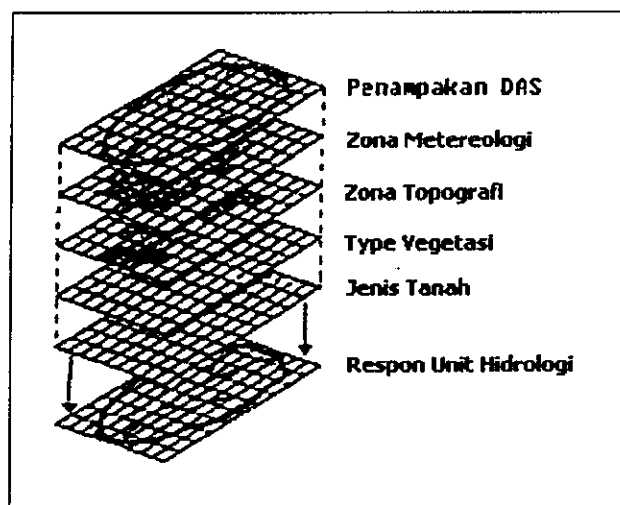
Model *ANSWERS*, adalah model “deterministik” yang berdasarkan hipotesis bahwa “Setiap titik di dalam DAS, mempunyai hubungan fungsi antara air dan parameter hidrologinya” antara lain intensitas hujan, infiltrasi, topografi, jenis tanah, dan beberapa faktor lainnya. Model ini mengasumsikan bahwa suatu DAS merupakan gabungan dari banyak elemen (Gambar 2.4).



Gambar 2.4. DAS tersusun atas elemen-elemen bujur sangkar
(Beasley dan Huggins, 1981)

Umumnya parameter *ANSWERS* didapat atas pengukuran lapangan secara fisik dan karena banyaknya parameter yang bervariasi, atas sifat karakteristik hidrologinya yang tersebar luas, maka untuk penentuan parameter tanah dan vegetasi, dikelompokkan dalam jenis yang dominan dan selanjutnya dituangkan dalam elemen yang berpengaruh.

Gambaran model dari suatu DAS dengan karakteristik basin yang memberikan *respon unit* dalam tata air (hidrologis) DAS, terlihat seperti pada Gambar 2.5 di bawah ini.



Gambar 2.5. Respon Unit dalam model *ANSWERS*
(Beasley dan Huggins, 1981)

2.6.2.2. Data Masukan Model *ANSWERS*

Sebagai masukan model, data dikelompokkan atas lima komponen :

1). Data curah hujan, yang meliputi :

- Intensitas hujan (I) dalam mm/jam.
- Stasiun yang berpengaruh (maksimum empat).

2). Data tanah, yang meliputi :

- Porositas Total (TP) dalam %.
- Kapasitas lahan (FP) dalam mm.
- Laju infiltrasi dalam keadaan konstan (FC) dalam mm.
- Selisih laju infiltrasi maksimum dengan keadaan laju infiltrasi *steady state* (A) dalam mm dari persamaan Holtan.
- Eksponensial Holtan dalam persamaan infiltrasi (p).
- Kedalaman infiltrasi pada zone kontrol (DF) dalam mm.
- Persentase kejenuhan (ASM).
- Erodibilitas tanah (K) dari USLE.

3). Data tata guna lahan, yang meliputi :

- Koefisien tanaman (C) dari USLE.
- Volume intersepsi potensial (PIT,) dalam mm per jam.
- Persentase penutupan permukaan oleh penggunaan lahan (PER), dalam persen (%).
- Koefisien kekasaran (RC).
- Tinggi kekasaran max (HU), dalam mm.
- Konstanta Manning's (N).
- Faktor Pengolahan Lahan (P).

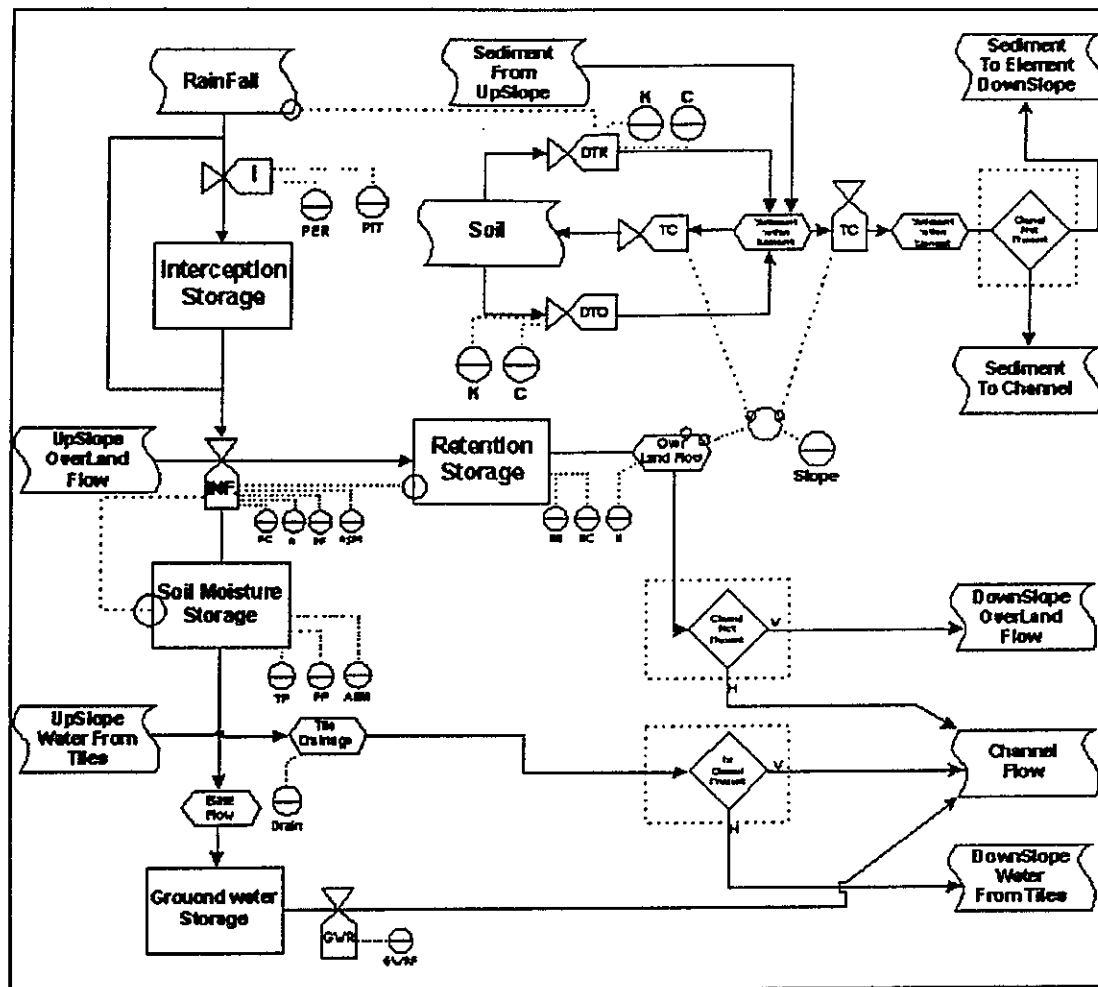
4). Data saluran atau sungai, yang meliputi :

- Lebar saluran (CW), dalam meter.
- Koefisien Kekasaran saluran, menurut Manning's (n).
- Koefisien drainasi (DC).
- Aliran air bawah tanah (GWF), dalam mm/jam.

5). Data saluran individu elemen, yang meliputi :

- Kemiringan lereng, dalam persen (%).
- Arah lereng.
- Jenis tanah.
- Jenis penggunaan lahan.
- Liputan stasiun penakar hujan.
- Kemiringan saluran.
- Elevasi rata-rata elemen, dalam meter.

Hasil perhitungan dari data curah hujan, topografi, vegetasi, jenis tanah dan kemiringan lereng yang telah di-digitasi dan ditumpukkan (*over lay*), kemudian pada setiap kombinasi dinyatakan dengan nilai angka (numerik). Untuk mengetahui prosedur kerja dari model untuk setiap elemen dapat dibuat diagram alur seperti Gambar 2.6.



Gambar 2.6. Diagram alur Model *ANSWERS* tiap elemen
(De Roo, A.P.J. 1993)

2.6.2.3. Hubungan antar Komponen dalam Model *ANSWERS*

Hubungan antar komponen menjelaskan secara matematis untuk berbagai proses yang terdapat di dalam model *ANSWERS*, yaitu :

- 1). Laju infiltrasi maksimum (f).

Persamaan infiltrasi yang digunakan dalam model *ANSWERS*, adalah persamaan Holtan (1961), yang telah dimodifikasi oleh Huggins dan Monke (1968), untuk menjelaskan proses infiltrasi pada DAS, berdasarkan konsep tampungan DAS, yaitu :

$$f = \frac{FC + A \times (St + DR - F)^p}{TP \times DF} \dots\dots\dots(5)$$

dengan :

f = laju infiltrasi maksimum (mm/jam).

FC = laju infiltrasi konstan (mm/jam).

A = selisih laju infiltrasi maksimum dengan laju infiltrasi konstan (mm/jam).

St = tampungan potensial tanah (mm).

$$= (1 - ASM) \times TP \times DF$$

DF = kedalaman zone pengamatan infiltrasi (mm).

TP = porositas total (% volume).

ASM = lengas tanah awal (% saturation).

DR = akumulasi drainasi (mm).

F = akumulasi infiltrasi (mm).

p = koefisien pangkat infiltrasi (Holtan).

Kapasitas infiltrasi (FILT) minimum dari persamaan Holtan, yang dipergunakan dalam *ANSWERS* adalah sama dengan konduktifitas permukaan tanah pada keadaan jenuh (k_s). Karena nilai k_s selalu lebih kecil dari nol, maka pada model *ANSWERS* selalu terjadi infiltrasi, sekalipun tanah telah jenuh. Infiltrasi maksimum, diasumsikan terjadi pada permukaan tanah yang tertutup air, (Fraction Water Area, FWA).

2). Perkolasi atau Drainasi Rata-rata (dr).

Hubungan antar perkolasi (disebut “drainase” dalam *ANSWERS*) dan kadar air tanah, merupakan pengembangan dari model yang diperkenalkan oleh Huggins dan Monke (1968) yaitu :

$$dr = FC \times \left(1 - \frac{(St + DR - F)}{(1 - FP) \times TP \times DF}\right)^3 \dots\dots\dots(6)$$

dimana :

dr = perkolasi atau drainase rata-rata (mm/jam).

FP = kapasitas lahan (% saturation).

St = tampungan potensial tanah (mm).

$$(1 - ASM) \times TP \times DF$$

DF = kedalaman zone pengamatan infiltrasi (mm).

TP = porositas total (% volume).

ASM = lengas tanah awal (% saturation).

DR = akumulasi drainasi (mm).

F = akumulasi infiltrasi (mm).

3). Kedalaman Zone Pengamatan Infiltrasi (DF).

Kelemahan utama dari persamaan infiltrasi Holtan adalah dalam menentukan kedalaman zona pengamatan infiltrasi. Huggins dan Monke (1968) menentukannya menggunakan persamaan :

$$DF = \frac{F_{sat}}{(1 - ASM) \times TP} \dots\dots\dots(7)$$

dimana :

F_{sat} = akumulasi infiltrasi (mm) saat tanah dalam keadaan jenuh.

TP = porositas total (% volume).

ASM = lengas tanah awal (% saturation).

4). Potensial Tampungan Permukaan (DEP).

Potensial tampungan permukaan dihitung mempergunakan persamaan Huggins dan Monke (1986) yaitu :

$$DEP = HU \times RC \times \left(\frac{H}{HU}\right)^{\frac{1}{RC}} \dots\dots\dots(8)$$

dimana :

DEP = volume air yang tertampung pada permukaan tanah (mm^3).

H = kedalaman air yang tersimpan di atas datum (mm) ~ nilai ini dapat diperkirakan sama dengan 10 % dari harga HU.

HU = ketinggian maksimum dari relief mikro (mm) ~ tertinggi di atas datum.

RC = frekuensi dari kekasaran tanah, bervariasi dari nol hingga satu.

5). Fraction Water Area (FWA).

FWA adalah fraksi dari permukaan tanah yang tertutup air, yaitu :

$$FWA = \left(\frac{H}{HU}\right)^{\frac{1}{RC}-1} \dots\dots\dots(9)$$

6). Kapasitas Infiltrasi (FILT).

Kapasitas infiltrasi dinyatakan dengan persamaan :

$$FILT = FWA \times f + (1 - FWA) \times R \dots\dots\dots(10)$$

dimana :

FILT = kapasitas infiltrasi (mm/jam).

f = infiltrasi maksimum pada daerah yang tertutup air.

R = intensitas hujan total (mm/jam) dikurangi dengan intersepsi.

FWA = bagian dari permukaan tanah yang tertutup air (dalam bilangan negatif).

7). Tahanan Permukaan Maksimum (MAXDEP).

MAXDEP (*surface retention*) dihitung dengan asumsi ketinggian air paling atas dan paling bawah dari datum $H = 0, 1HU$, maka tahanan permukaan maksimum adalah

$$MAXDEP = HU \times RC \times (0,1)^{\frac{1}{RC}} \dots\dots\dots(11)$$

8). Persamaan Kontinuitas.

Persamaan ini digunakan untuk memperkirakan debit limpasan pada setiap elemen sebagai fungsi dari waktu, yaitu :

$$I - Q = \frac{ds}{dt} \dots\dots\dots(12)$$

dimana :

I = aliran masuk (*inflow*) rata-rata dari hujan dan elemen diatasnya.

Q = outflow rata-rata.

S = volume air yang tersimpan di elemen.

t = waktu.

9). Persamaan Manning's (V).

Persamaan ini dipergunakan untuk memperhitungkan laju aliran air, yaitu :

$$V = n^{-1} \times R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(13)$$

dimana :

V= kecepatan aliran (m/det).

R= jari-jari hidrolik (m).

S= kemiringan saluran.

n = koefisien kekasaran (Manning's).

Limpasan permukaan yang masuk ke elemen bawahnya tergantung dari arah kemiringan lereng, sebagai berikut :

Jika :

$ANG \leq 45^\circ$ maka $RFL = 0,5 \times \tan (ANG)$.

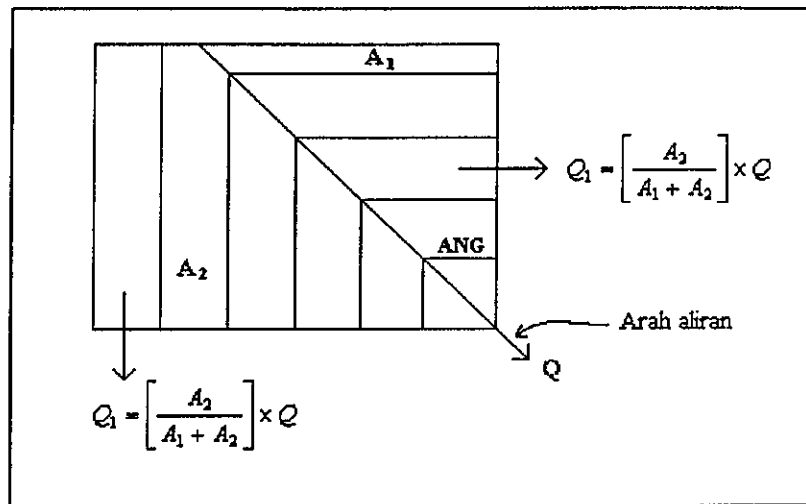
$45^\circ < ANG < 90^\circ$ maka $RFL = 1 - 0,5 \times \tan (90 - Ang) \dots\dots\dots(14)$

dimana :

RFL = limpasan yang memasuki elemen didekatnya.

ANG = kemiringan.

Pedoman penghitungan pemisahan aliran permukaan dilapangan dapat diberikan sketsa sebagaimana tertuang pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7. Pemisahan Aliran Permukaan

(Beasley dan Huggins, 1981).

10). Penghancuran Partikel Tanah oleh Tumbukan Air Hujan (DETR).

Penghancuran Partikel Tanah oleh air hujan, dihitung dengan mempergunakan persamaan Meyer oleh Wischmeier (1969) :

$$DETR = 0,018 \times C \times K \times A_i \times R^2 \dots\dots\dots (15)$$

dimana :

DETR = penghancuran partikel tanah oleh air hujan (kg/menit).

C = faktor tanaman penggunaan lahan.

K = erodibilitas tanah.

$$= 1,292 [2,1 M^{1,14} (10^{-4}) (12 - a) + 3,25 (b - 2) + 2,5 (c - 3)]. 100^1$$

M = persentase pasir sangat halus dan debu (%).

a = persentase bahan organik (%).

b = kode struktur tanah dalam klasifikasi tanah (Tabel 2.4).

- c = kelas permeabilitas profil tanah (Tabel 2.5).
 A_1 = luas areal jatuhnya hujan (m^2).
 R = intensitas hujan selama kejadian hujan (mm/menit).

Tabel 2.4. Kode Struktur Tanah.

Kelas Struktur Tanah (ukuran diameter)	Kode
- Granular sangat halus (< 1 mm)	1
- Granular halus (1 - 2 mm)	2
- Granular sedang sampai kasar (2 - 10 mm)	3
- Berbentuk balok, blocky, plat, masif	4

Sumber: Arsyad, 1989

Tabel 2.5. Kode Permeabilitas Profil Tanah.

Kelas Permeabilitas	Kecepatan (cm/jam)	Kode
- Sangat lambat	< 0,5	6
- Lambat	0,5 - 2,0	5
- Lambat sampai sedang	2,0 - 6,3	4
- Sedang	6,3 - 12,7	3
- Sedang sampai cepat	12,7 - 25,4	2
- Cepat	> 25,4	1

Sumber : Arsyad, 1989

11). Penghancuran Partikel Tanah oleh Limpasan Permukaan (DETF).

Persamaan yang digunakan, adalah modifikasi dari persamaan Meyer dan Wischmeier (1969) oleh Foster (1976), yaitu :

$$DETF = 0,90 \times C \times K \times A_1 \times SL \times Q_1 \dots\dots\dots (16)$$

dimana :

SL = kemiringan lereng (%).

 Q_1 = aliran persatuan lebar.

C = faktor tanaman penggunaan lahan.

K = erodibilitas tanah.

 A_1 = luas areal jatuhnya hujan (m^2).

12). Potensial Pengangkutan Sedimen (TF).

Potensial angkutan sedimen, mempergunakan persamaan Yalin (1963), yakni:

$$TF = 161 \times SL \times Q^{0.5} \quad \text{jika } Q \leq 0,046 \text{ m}^3/\text{menit dan}$$

$$TF = 16320 \times SL \times Q^2 \quad \text{jika } Q > 0,046 \text{ m}^3/\text{menit} \dots \dots \dots (17)$$

2.6.3. Perhitungan Debit Aliran

Dari data debit aliran di sungai setiap waktu yang bervariasi, dapat dibuat persamaan lengkung aliran, dengan menghubungkan titik-titik dominan dari hasil pengukuran tersebut. Kemudian dengan menggunakan program *power regression*, dapat dicari persamaan lengkung debit aliran tersebut dengan menggunakan persamaan umumnya sebagai berikut :

$$Q_w = a \cdot H^b \dots \dots \dots (18)$$

dimana :

Q_w = debit aliran (m³/det).

a = koefisien regresi.

H = kedalaman air dalam sungai (m).

b = bilangan eksponensial.

Besaran koefisien regresi dan bilangan eksponensial tersebut juga bisa dicari secara hitung statistik dengan menggunakan persamaan umumnya adalah sebagai berikut :

$$\bar{y} = a + b \bar{x}$$

$$a = \bar{y} - b \bar{x}$$

$$\rightarrow \begin{array}{l} \bar{y} = \text{rata} - \text{rata} \quad \log Q_w \\ \bar{x} = \text{rata} - \text{rata} \quad \log H \end{array}$$

$$b = \frac{\sum (x, y) - \frac{\sum x \sum y}{n}}{\sum (x^2) - \frac{(\sum x)^2}{n}}$$

x = data kedalaman air (m).
dimana : y = debit air (m³/det).
 n = jumlah data.

Dan untuk Sungai Kaligarang telah mempunyai lengkung debit aliran (*rating curve*) tetap.

BAB III

METODOLOGI, ASUMSI DAN PROSEDUR PENELITIAN

3.1. Metode

Model *ANSWERS*, merupakan suatu metode analisis yang digunakan untuk menduga timbulnya erosi dan puncak banjir, yang terjadi pada suatu Derah Aliran Sungai akibat satu kejadian hujan (*single event*). Sehingga untuk mendapatkan besaran erosi tahunan, yang dikaitkan dengan rangkaian kejadian hujan selama periode tertentu (*long term*), maka perlu dikemukakan suatu metode yang dapat memprediksi kejadian hujan selama kurun waktu tersebut. Dan untuk studi kasus ini diambil data historis dari stasiun manual hujan selama 15 tahun (1985-2000) pada tiga lokasi tersebut.

Metode yang digunakan untuk menganalisis durasi hujan tersebut menggunakan program *Frequenc* (USBR, 1989), yang membagi dalam 35 kelas kejadian hujan. Analisis ini dimaksudkan untuk mencari durasi serta intensitas hujan yang terjadi selama 15 tahun, dengan ribuan data yang harus diiterasi, dapat disederhanakan menjadi 35 kelas hujan dengan peluang setiap kejadian. Dari analisis ini, maka pada setiap kawasan pengaruh sebaran stasiun otomatis hujan akan didapat data yang terdiri dari :

- Urutan atau kelas kejadian hujan dari satu sampai dengan 35.
- Kedalaman curah hujan.
- Jumlah kejadian hujan selama 15 tahun.
- Frekuensi atau kerapatan kejadian hujan.

3.2. Asumsi

Sebelum dilakukan analisis durasi hujan, maka lebih dulu diadakan tahapan, untuk mencari pola hujan berdasarkan hasil rekaman kejadian hujan dari stasiun otomatis hujan yang ada, hingga didapatkan asumsi pola durasi, akumulasi dan kedalaman setiap periode berdasarkan hasil keluaran metode *Frequenc*.

Disamping itu kondisi lahan sejak tahun 1985 sampai saat penelitian diasumsikan tidak berubah, bahkan berangsur-angsur menjadi lebih baik setelah diadakan rehabilitasi dan konservasi sejak tahun 1991 oleh Balai Rehabilitasi Lahan dan Konservasi Tanah (RLKT) Wilayah V.

3.3. Prosedur Penelitian

Secara prinsip langkah-langkah pelaksanaan penelitian ini meliputi, Pengumpulan data, Penapisan dan analisis data, Pembuatan peta spasial, Pemasukan dan Proses iterasi data dengan program *ANSWERS* serta Kalibrasi terhadap satu kejadian hujan (*single event*).

Aplikasi hasil model dilakukan terhadap kejadian hujan selama kurun waktu 15 tahun (1985-2000) untuk mencari erosi tahunan dalam upaya pengelolaan Sub DAS Garang. Kemudian dilakukan simulasi terhadap skenario penggunaan lahan dengan mengurangi dan menambah luas hutan sehingga didapatkan besaran kehilangan tanah akibat erosi per hektar per tahun tidak melebihi batas yang ditetapkan (arahan).

Untuk memberikan ilustrasi tahapan kegiatan tersebut, selanjutnya dapat disajikan bagan alir penelitian seperti pada Gambar 3.1.

3.3.1. Deskripsi Data

Data yang dibutuhkan pada penelitian ini terdiri dari data primer, yaitu data yang diambil langsung di lapangan dan data yang sudah ada (sekunder).

1). Data primer, meliputi:

- Curah hujan setiap jam, selama satu kejadian.
- Debit aliran pada satu kejadian hujan melalui AWLR.
- Konsentrasi sedimen, pada satu kejadian hujan.

2). Data Sekunder, terdiri dari:

a). Peta

- Topografi
- Sungai
- Jenis tanah
- Kemiringan lereng
- Tata guna lahan
- Kontur
- Hidrologi dan hidrometri

b). Tanah

- Porositas total (TP).
- Kapasitas lahan (FP).
- Laju infiltrasi dalam keadaan konstan (FC).
- Selisih laju infiltrasi maksimum dengan laju infiltrasi konstan (A).
- Kelembaban tanah awal (ASM).
- Koefisien pangkat infiltrasi (p).
- Kedalaman zone pengamatan infiltrasi pada horizon A (DF).
- Erodibilitas tanah (K) dari formulasi USLE (*Universal Soil Loss Equation*).

c). Penggunaan lahan dan kondisi permukaan

- Jenis penggunaan lahan dan pengelolaannya (P).
- Volume intersepsi potensial (PIT).
- Persentase penutupan permukaan untuk setiap jenis penggunaan (PER).
- Koefisien tanaman penggunaan lahan (C).
- Koefisien kekasaran permukaan dan tampungan genangan permukaan (RC).
- Tinggi kekasaran maksimum (HU).

d). Alur sungai

- Lebar saluran (CW).
- Koefisien kekasaran saluran (n) menurut Manning.

3.3.2. Metode Pengumpulan Data

1). Data primer

Untuk keperluan kalibrasi data hujan sebagai masukan model iven, diambil langsung di lapangan sebagai data primer dan meliputi :

a). Curah Hujan

Hujan yang terjadi dan terekam oleh *cartridge* dalam *loger* di masing-masing stasiun hujan pada tanggal-tanggal penelitian, langsung diambil dan di baca melalui *scanner* secara komputasi sebagai data masukan satu kejadian.

b). Debit Aliran

Data debit aliran Sub DAS Garang, yang akan digunakan sebagai pembanding, diambil dari Stasiun Hidrometri Patemon, di Sungai Kaligarang yang merupakan *outlet* dari struktur Sub DAS yang dimodelkan. Dari pos otomatis duga air (AWLR) ini, dicatat data aliran mingguan yang pernah terjadi pada setiap saat secara terus menerus, sehingga pada saat terjadi hujan di daerah tangkapan (*Cachment Area*), segera dilakukan pembacaan langsung terhadap elevasi muka air pada alat tersebut dengan interval satu jam.

b). Sedimen

Bersamaan dengan waktu pengambilan data debit aliran, maka segera dilakukan pengambilan air (sampel), pada tempat-tempat yang diperkirakan mempunyai tingkat kekeruhan homogen dilokasi titik kontrol (*outlet*), untuk selanjutnya di guncang dan di masukkan dalam botol.

2). Data Sekunder

Pengumpulan data sekunder dilakukan terhadap data yang sudah ada dan diambil dari arsip kegiatan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, oleh instansi teknis terkait, seperti Bappeda Prop. Jateng, Balai RLKT Wilayah V, Dinas PU Pengairan Prop. Jateng, Balai Hidrologi Puslitbang Pengairan Dep. Kimpraswil, Puslitanak Bogor, CIRAD dan Balai Penelitian dan Pengkajian Teknologi Pertanian Jateng. Disamping itu sebagian data, dikumpulkan dari literatur yang membahas tentang meteri terkait.

a). Peta

Untuk keperluan pengolahan data dengan model, diperlukan data peta dengan skala 1:50 000, yang meliputi peta topografi, jaringan alur sungai, tataguna lahan, jenis tanah, kemiringan lereng, kontur dan letak stasiun hidrologi yang berpengaruh.

b). Tanah

Parameter tanah Sub DAS Garang didapat dari pengambilan sampel setiap jenis tanah yang ada, sesuai dengan peta tanah yang dibuat oleh Puslitanak (1989), Puspics Fakultas Geografi UGM (1999) dan Sub Balai RLKT Jratunseluna (1999). Untuk pengambilan sampel tanah tersebut telah dilakukan dengan cara *undisturb* oleh Puslitanak Bogor pada empat jenis tanah yang terdapat pada kawasan Sub DAS tersebut, antara lain :

- Latosol coklat tua kemerahan, dengan kode S1.
- Latosol coklat, dengan kode S2.
- Mediteran coklat tua, dengan kode S3 .
- Andosol coklat, dengan kode S4.

c). Tataguna Lahan

Penggunaan lahan Sub DAS Garang, secara dominan terdiri dari lima jenis, yang meliputi :

- Permukiman.
- Ladang (tegalan).

- Sawah.
- Hutan.
- Perkebunan

Data tersebut dikutip dari Laporan Monitoring dan Evaluasi Penggunaan Lahan Sub DAS Garang (Sub Balai RLKT Jratunseluna, 1999).

d). Hujan

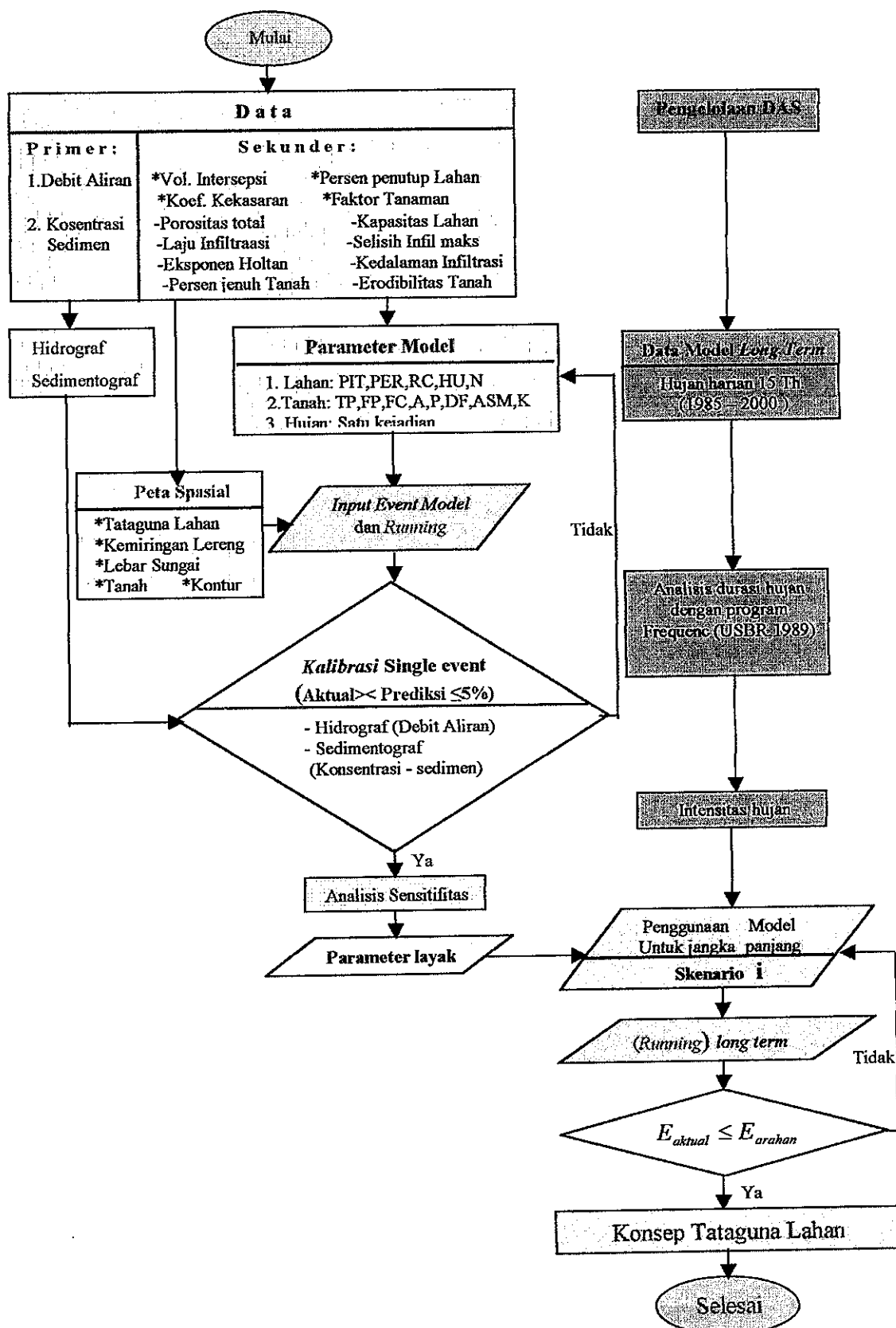
Jumlah stasiun pencatat curah hujan yang ada di Sub DAS Garang cukup banyak, yang meliputi pos otomatis dan manual. Akan tetapi sesuai ketentuan pada manual *ANSWERS*, bahwa stasiun yang dimasukkan, maksimum empat lokasi dan untuk keperluan penelitian ini, stasiun otomatis hujan yang berpengaruh meliputi :

- Stasiun Pagersari, dengan diberi kode (R1).
- Stasiun Sidorejo, dengan diberi kode (R2).
- Stasiun Susukan, dengan diberi kode (R3).

Pos hujan di lokasi ini, merekam kejadian hujan setiap saat dalam format harian, setiap jam atau setiap 6 menit (di ambil dari stasiun milik CIRAD, 2001), selanjutnya pada titik-titik stasiun tersebut dihubungkan, untuk menentukan pengaruh sebaran hujan sesuai metode Thiessen dan metode ini di gunakan mengingat titik pengamatan dibatasi hanya tiga, sesuai ketentuan dalam model.

Untuk data hujan jangka panjang (*long term*) selama 15 tahun, yang merupakan data historis dari pos manual hujan, diambil dari Ranting PU Pengairan Ungaran.

Sebagai masukan model pada penelitian ini, digunakan kejadian hujan pada tanggal 8 Maret 2001 dengan interval waktu 60 menit, dan data hujan yang lain (kejadian tanggal 1 Maret dan 28 Februari 2001) digunakan sebagai pembanding, sedangkan untuk data jangka panjang selama 15 tahun tersebut diambil mulai dari tahun 1985 sampai dengan tahun 2000.



Gambar 3.1. Bagan Alir Penelitian

3.3.3. Penapisan dan Analisis Data

Sebelum pengolahan data dilakukan, maka terlebih dulu diadakan pemisahan, terhadap data yang akan digunakan secara urut prioritas. Pada penelitian ini pengolahan dibedakan atas dua bagian, yaitu pengolahan data hasil pengamatan langsung di lapangan (data primer), melalui uji laboratorium. Sedangkan data sekunder yang memerlukan analisis untuk masukan model, dilakukan dengan perangkat lunak (*soft wear*) menggunakan komputer atau perhitungan dengan rumus tertentu untuk mencari parameter awal, selanjutnya prosedur pengolahan data tersebut dirinci sebagai berikut:

1). Pengolahan Data Lapangan (Primer)

Untuk mendapatkan besaran konsentrasi sedimen, maka sampel air hasil observasi, pengolahannya dilakukan di Laboratorium Pengaliran Undip dan Laboratorium Pengujian Eks Kanwil PU. Propinsi Jawa Tengah.

Adapun hasil data pengamatan debit aliran pada AWLR, dapat dianalisis dengan menggunakan *digitizer* atau langsung pada kertas pias yang ada untuk ditabelkan.

2). Pengolahan Data Sekunder

a). Dengan Program *Frequenc*

Untuk perhitungan erosi tahunan, dimulai dengan pembacaan data hujan harian pada tiga stasiun hujan tersebut selama 15 tahun (1985-2000). Dari pengamatan data pias hujan yang ada, selanjutnya dapat diketahui karakteristik hujan yang terjadi pada Sub DAS Garang dan sekitarnya. Karena data hujan yang diperoleh jumlahnya ribuan, maka diperlukan penyederhanaan data dengan suatu analisis frekuensi atau *rainfall duration analisis* dengan program *Frequenc*, yang membagi data tersebut menjadi 35 kelas hujan disertai peluang setiap kejadian.

b). Dengan Program *ANSWERS*

(1). Peta

Diambil dari hasil Studi Penyusunan *Management Plan* DAS Kaligarang (Puspics Fakultas Geografi UGM, 1999) dan peta Monitoring Tata Air (Sub Balai RLKT Jratunseluna, 1999), selanjutnya dibuat dalam bentuk sel (*grid system*) yang meliputi peta kontur, peta kemiringan lereng, peta saluran, peta arah aliran setiap elemen, peta jenis tanah, peta penggunaan lahan dan peta sebaran stasiun hujan.

(2). Hujan

Analisis sebaran hujan rata-rata dengan poligon Thiessen, dimaksudkan untuk memberi batasan data masukan tiap elemen pada peta spasial yang dipengaruhi oleh tiga stasiun hujan tersebut. Metode ini dipilih mengingat titik pengamatan yang terbatas hanya tiga, sesuai manual model dan untuk menentukan koefisien sebaran, cara ini cukup baik.

(3). Tanah

Untuk mencari parameter awal dari empat jenis tanah yang ada, telah didapatkan dari hasil pengambilan sampel asli (*undisturb*) yang dianalisis di laboratorium (dilakukan oleh Puslitanak Bogor), adalah dengan menggunakan ketentuan rumus atau tabel yang meliputi :

- Porositas total (TP)

$$TP = 100 - \left[\left(\frac{bj}{2,65} \right) \times 100 \right]$$

bj : berat jenis tanah.

- Kapasitas lahan (FP) = dari kurva pF (2,5).

pF : kurva tegangan kelembaban. tanah dari nilai logaritma negatif.

- Laju infiltrasi dalam keadaan konstan (FC).

$$FC = p_{min} + \frac{dbt}{2}$$

p_{min} : permeabilitas minimum

dbt : daerah bawah yang tersedia = 1/3 kali daerah permeabilitas.

- Selisih infiltrasi maksimum dengan infiltrasi konstan (A).

$$A = \frac{(p_{min} + dbt) + p_{mak}}{2}$$

p_{mak} : permeabilitas maksimum.

- Kelembaban tanah awal (ASM) = dari hasil pengambilan sampel (*undisturb*).
- Koefisien pangkat persamaan infiltrasi (p) Holtan.

p = dari segitiga tekstur tanah dan tabel nilai (p) pada manual ANSWERS.

- Kedalaman zona pengamatan infiltrasi pada horizon A (DF).

DF = dari pengamatan lapangan saat pengambilan sampel.

- Erodibilitas tanah (K) dari formulasi USLE.

$$K = 1,292 [2,1 M^{1,14} (10^{-4}) (12 - a) + 3,25 (b - 2) + 2,5 (c - 3)] \cdot 100^{-1}$$

M = persentase pasir sangat halus dan debu (%).

a = persentase bahan organik (Tabel H 2a) pada lampiran H, dalam %.

b = kode struktur dalam klasifikasi tanah (Tabel H 2b) pada Lampiran H.

c = kelas permeabilitas profil tanah (Tabel H 2c), pada Lampiran H.

A_1 = luas areal jatuhnya hujan (m^2).

R = intensitas hujan selama kejadian hujan (mm/jam).

Hasil perhitungan parameter awal tanah, disajikan dalam bentuk tabel pada Lampiran H.

(4). Tataguna lahan

Untuk parameter tataguna lahan diambil dari tabel penggunaan lahan seperti yang tercantum pada *User's Manual 'ANSWERS'* dan Tabel dari penggunaan lahan (Arsyad, 1989), yang antara lain :

- Faktor pengolahan lahan (P).
- Konstanta Manning's (N).
- Tinggi kekasaran dan kekasaran maksimum (RC – HU).
- Faktor tanaman (C).
- Koefisien kekasaran saluran (n).
- Persen penutupan permukaan lahan (PER).
- Tampungan intersepsi potensial (PIT).

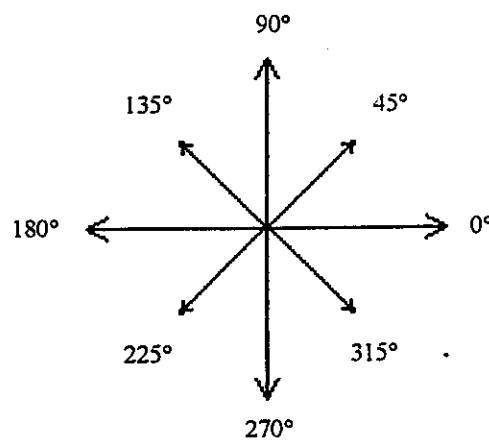
Dan hasil parameter lahan dapat ditampilkan seperti pada Lampiran H.

Sedangkan parameter lainnya seperti aliran air bawah tanah yang keluar secara perlahan menuju alur (*base flow*) atau *ground water flow* ditentukan dengan cara kalibrasi.

3.3.4. Pembuatan Peta Spasial

Peta spasial dibuat berdasarkan peta topografi berskala 1:50 000 (Sub Balai RLKT, 1999), selanjutnya dibuat sistem grid dengan luas elemen 25 ha atau sama dengan 1cm² untuk setiap jenis peta, ini ditentukan mengingat jumlah sel yang disediakan oleh model, terbatas 1000 elemen. Hal tersebut masih cukup baik, karena variasi parameter tanah dan vegetasi tidak cukup banyak ragamnya dan lokasinya relatif mengumpul.

Untuk mencari arah aliran, dimulai dengan penelusuran dari awal alur, hingga mencapai sungai utama, dan arah aliran ini ditentukan dengan arah kuadran, pada setiap elemen yang tegak lurus terhadap garis kontur. Sehingga setiap arah panah yang ada, akan menentukan besarnya derajat kemiringan lereng yang diberikan dan untuk menentukan langkah tersebut dapat diikuti petunjuk sebagaimana terlihat pada gambar di bawah ini (Gambar 3.2).



**Gambar 3.2. Arah derajat kemiringan lereng.
(Beasley dan Huggins, 1981).**

Pada peta tanah apabila dalam suatu elemen memiliki dua jenis tanah yang berbeda, maka diambil jenis tanah yang paling dominan, begitu juga terhadap tataguna lahan, tetapi untuk kemiringan lereng dan elevasi diambil rata-ratanya. Data peta tersebut kemudian ditransformasikan dalam bentuk digital (angka), yang selanjutnya dipakai sebagai input model, dengan ketentuan sebagai berikut:

- 1). Peta spasial yang sudah dalam sistem atau elemen bujur sangkar, masing-masing diberi nomor baris dan nomor kolom, serta plotting warna, untuk mengidentifikasi setiap jenis parameter yang sesuai.
- 2). Angka kelas lereng, dibuat berdasarkan arah kuadran dengan interval 45 derajat, serta persentase arah lereng, dengan hasil kali 1000, terhadap batas maksimum dan sebaran hujan pada stasiun yang berpengaruh menurut metode poligon Thiessen.

Adapun peta spasial tersebut meliputi :

- Peta arah aliran pada jaringan alur air (DAS).
- Peta penutupan lahan dan tataguna lahan.
- Peta jenis tanah.
- Peta lokasi stasiun hidrologi/hidrometri.

- Peta kontur.
- Peta kemiringan lereng.

Dan merupakan hasil rekayasa dari masing-masing peta tersebut, dapat diperlihatkan seperti pada Lampiran A.

3.3.5. Pemasukan dan Proses Iterasi Data *ANSWERS*

Sebelum data dimasukkan dalam model, perlu dibuat suatu tabel analisis data untuk setiap unsur data masukan, seperti arah aliran, penutupan lahan, jenis tanah, kemiringan lereng, kontur dan stasiun hidrologi/hidrometri. Selanjutnya data masukan yang berupa angka (*digital*) tersebut, masing-masing dimasukkan dalam baris dan kolom, dengan format penulisan masukan data, seperti tampilan pada Tabel C1 (Lampiran C)

Selanjutnya sistem data spasial pada model, untuk input program *ANSWERS* dapat terlihat seperti tampilan pada Tabel C.2. Lampiran C.

3.3.6. Analisis Aliran Lahan (*runoff*)

Data keluaran *ANSWERS* yang ditabelkan adalah berdasarkan curah hujan yang jatuh dalam milimeter (mm) terhadap *runoff* dengan satuan milimeter per jam (mm/jam), sehingga untuk menghitung dalam satuan meter kubik per detik ($m^3/detik$), harus diadakan ekivalensi terhadap angka koefisien 20,69 yang didapat dari perkalian antara luas sub DAS dengan curah hujan dibagi waktu, seperti uraian dibawah ini:

$$\frac{A \times R}{t} \dots\dots\dots (19)$$

dimana : A : luas sub DAS Garang = $74,50 \text{ km}^2$.

R : tinggi curah hujan (mm).

t: satuan waktu (detik).

Sehingga didapatkan : $\frac{(mm \times 10^3) m \times (74,50 \times 10^6) m^2}{(60 \times 60) detik} = 20,69 \text{ m}^3/detik$

3.3.7. Kalibrasi

Pada tahap ini, dibutuhkan pasangan data, yang terdiri atas data intensitas hujan, sebagai masukan model dan data debit aliran, atau sedimen, yang merupakan data observasi di lapangan untuk kejadian yang sama dan data tersebut ditampilkan dalam bentuk hidrograf dan sedimentograf nya. Kemudian dengan cara ubah-coba (*trial-error*) terhadap besaran parameter awal, baik parameter jenis tanah, ataupun lahan serta aliran dasar (*ground water flow*), seperti telah disebutkan pada paragraf 3.3.3. 2) tentang pengolahan data sekunder, akan menghasilkan keluaran model, berupa hidrograf atau sedimentograf tersebut, masing-masing menghasilkan bentuk yang sesuai. Dan terjadinya deviasi antara kedua bentuk tersebut diberikan toleransi antara 10-20 % (O'Connell,1970).

Setelah hasil keluaran *ANSWERS*, dicapai harga yang sesuai dan mendekati sama, maka berarti pemodelan telah mendapatkan parameter yang layak, untuk proses simulasi selanjutnya.

3.4. Aplikasi Model

Keluaran *ANSWERS*, berupa erosi rata-rata (*average soil lost*) pada satu kejadian hujan akan segera bisa diketahui, namun untuk mendapatkan erosi tahunan, dalam rangka pengelolaan DAS selama 15 tahun (1985 –2000), harus diadakan analisis terhadap durasi hujan (*rainfall duration analysis*), dengan metode *Frequenc*, yang menyederhanakan data menjadi 35 kelas hujan, dengan peluang setiap kejadian hujan (USBR, 1989). Analisis tersebut akan memperoleh besaran intensitas hujan, berdasarkan karakteristik hujan selama waktu tersebut, untuk kemudian digunakan sebagai masukan perhitungan erosi tahunan pada model *ANSWERS*, seperti terlihat pada Lampiran B.

3.5. Simulasi Skenario

Simulasi dilakukan setelah proses kalibrasi selesai dan sesuai, selanjutnya untuk mendapatkan erosi tahunan dan puncak banjir yang terjadi, sesuai dengan kondisi Sub DAS Garang sampai dengan saat penelitian, maka perlu dilakukan skenario penggunaan lahan dengan mengadakan penambahan, atau pengurangan terhadap luas hutan. Simulasi tersebut dilakukan dengan jalan mengubah perkebunan atau ladang, menjadi hutan kemudian dilihat keluaran kehilangan tanah (erosi) dan puncak banjir yang terjadi, hingga mencapai besaran angka yang tidak melebihi batas arahan yang ditetapkan.

Langkah simulasi sesuai skenario sistem pengelolaan DAS yang direncanakan, dapat ditunjukkan seperti pada Tabel E.1 (Lampiran E).

3.6. Penetapan Penggunaan Lahan

Setelah proses simulasi skenario selesai dengan hasil keluaran erosi dan puncak banjir, sesuai yang diharapkan (tidak melebihi batas toleransi), maka perlu ditetapkan batasan penggunaan lahan berdasarkan hasil analisis tersebut, yang merupakan konsep tataguna lahan yang seharusnya diterapkan, walaupun implementasinya dilakukan secara bertahap.

3.7. Analisis Sensitivitas

Melakukan Analisis Sensitivitas dengan program *ANSWERS*, dimaksudkan untuk mengetahui parameter-parameter yang paling berpengaruh terhadap hasil keluaran model, yang akan digunakan sebagai pedoman terhadap pengelolaan DAS.

Dan untuk mencari parameter yang paling sensitif terhadap erosi dan puncak banjir, maka perlu dilakukan langkah dengan cara menambahkan dan mengurangi nilai masing-masing parameter sebesar 10 % kemudian di lakukan *running*, selanjutnya dilihat hasil keluaran pada model tersebut.

Untuk mendapatkan indeks sensitifitas (S), digunakan rumus sebagai berikut :

$$S = \left[\frac{P_{10} - M_{10}}{BASELINE} \right] \dots\dots\dots (20)$$

dimana :

- S = indeks sensitifitas dengan satuan %.
- P₁₀ = hasil simulasi dengan mengadakan penambahan 10 %.
- M₁₀ = hasil simulasi dengan mengadakan pengurangan 10 %.
- BASELINE = hasil simulasi awal (dasar).

Masing-masing indeks sensitifitas (S) yang terjadi, kemudian dibandingkan dengan nilai indeks sensitifitas terbesar dan selanjutnya hasil tersebut dibuat dalam bentuk persen, seperti ditampilkan dalam Grafik Indeks Sensitifitas pada Gambar F.1, F.2, dan F.3 (Lampiran F).

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Satu Kejadian Hujan (*Single Event*)

Hujan yang jatuh pada tanggal 8 Maret, 1 Maret, dan 28 Februari 2001 pada Sub DAS Garang, dapat dimodelkan dengan metode *ANSWERS* dan dianalisis terhadap masukan data parameter hidrologi yang berpengaruh. Selanjutnya hasil keluaran tentang karakteristik Sub DAS Garang, yang meliputi luas setiap elemen, luas Sub DAS, kemiringan lahan, kemiringan sungai, kelembaban tanah, kapasitas lahan dan posisi titik kontrol (*outlet*) termasuk rata-rata kehilangan tanah hasil erosi, secara ringkas dapat ditampilkan seperti pada Tabel 4.1, 4.2 dan 4.3. Disamping itu keluaran model, sekaligus akan menghasilkan hidrograf yang merupakan prediksi aliran lahan (*runoff*) akibat adanya curah hujan yang terjadi pada saat itu seperti terangkum pada Gambar 4.5, 4.7 dan 4.9.

Tabel 4.1. Ringkasan Keluaran Model (*Summary Report*)
Tanggal 8 Maret 2001

File:	D:\ANSWERS\DATA\GARANG4710.ANS
CATCHMENT:	SUB DAS GARANG
WATERSHED CHARACTERISTICS	
=====	
NUMBER OF 25.00 HA OVERLAND FLOW ELEMENTS =	298
NUMBER OF CHANNEL SEGMENTS =	129
AREA OF CATCHMENT =	7450.0 HA
CATCHMENT SLOPE: MIN =	0.00 AVE = 25.86 MAX = 45.00 PERCENT
CHANNEL SLOPE: MIN =	1.50 AVE = 12.04 MAX = 21.50 PERCENT
PERCENT OF AREA TILED =	0.0 WITH A D.C. OF 12.00 MM/24H
MEAN ANTECEDENT SOIL MOISTURE =	22., FIELD CAPACITY = 54. PERCENT SATURATION
GROUNDWATER RELEASE FRACTION =	0.0100
OUTLET IS ELEMENT	298 AT ROW 31 COL 7
OUTLET HYDROGRAPHS--VER 4.880215	
RUNOFF VOLUME PREDICTED FROM	58.51 MM OF RAINFALL = 23.135 MM
AVERAGE SOIL LOSS =	13725. KG/HA
MAX EROSION RATE =	368231. KG/HA MAX DEPOSITION RATE = 219729. KG/HA

Tabel 4.2. Ringkasan Keluaran Model (*Summary Report*)

Tanggal 1 Maret 2001

File: [REDACTED]

CATCHMENT: SUB DAS GARANG
WATERSHED CHARACTERISTICS
=====

NUMBER OF 25.00 HA OVERLAND FLOW ELEMENTS = 298
NUMBER OF CHANNEL SEGMENTS = 129
AREA OF CATCHMENT = 7450.0 HA
CATCHMENT SLOPE: MIN = 0.00 AVE = 25.86 MAX = 45.00 PERCENT
CHANNEL SLOPE: MIN = 1.50 AVE = 12.04 MAX = 21.50 PERCENT
PERCENT OF AREA TILED = 0.0 WITH A D.C. OF 12.00 MM/24H
MEAN ANTECEDENT SOIL MOISTURE = 22., FIELD CAPACITY = 54. PERCENT SATURATION
GROUNDWATER RELEASE FRACTION = 0.0100
OUTLET IS ELEMENT 298 AT ROW 31 COL 7

OUTLET HYDROGRAPHS--VER 4.880215
RUNOFF VOLUME PREDICTED FROM 68.25 MM OF RAINFALL = 28.030 MM
AVERAGE SOIL LOSS = 8685. KG/HA
MAX EROSION RATE = 110704. KG/HA MAX DEPOSITION RATE = 69409. KG/HA

Tabel 4.3. Ringkasan Keluaran Model (*Summary Report*)

Tanggal 28 Februari 2001

File: [REDACTED]

CATCHMENT: SUB DAS GARANG
WATERSHED CHARACTERISTICS
=====

NUMBER OF 25.00 HA OVERLAND FLOW ELEMENTS = 298
NUMBER OF CHANNEL SEGMENTS = 129
AREA OF CATCHMENT = 7450.0 HA
CATCHMENT SLOPE: MIN = 0.00 AVE = 25.86 MAX = 45.00 PERCENT
CHANNEL SLOPE: MIN = 1.50 AVE = 12.04 MAX = 21.50 PERCENT
PERCENT OF AREA TILED = 0.0 WITH A D.C. OF 12.00 MM/24H
MEAN ANTECEDENT SOIL MOISTURE = 12., FIELD CAPACITY = 54. PERCENT SATURATION
GROUNDWATER RELEASE FRACTION = 0.0100
OUTLET IS ELEMENT 298 AT ROW 31 COL 7

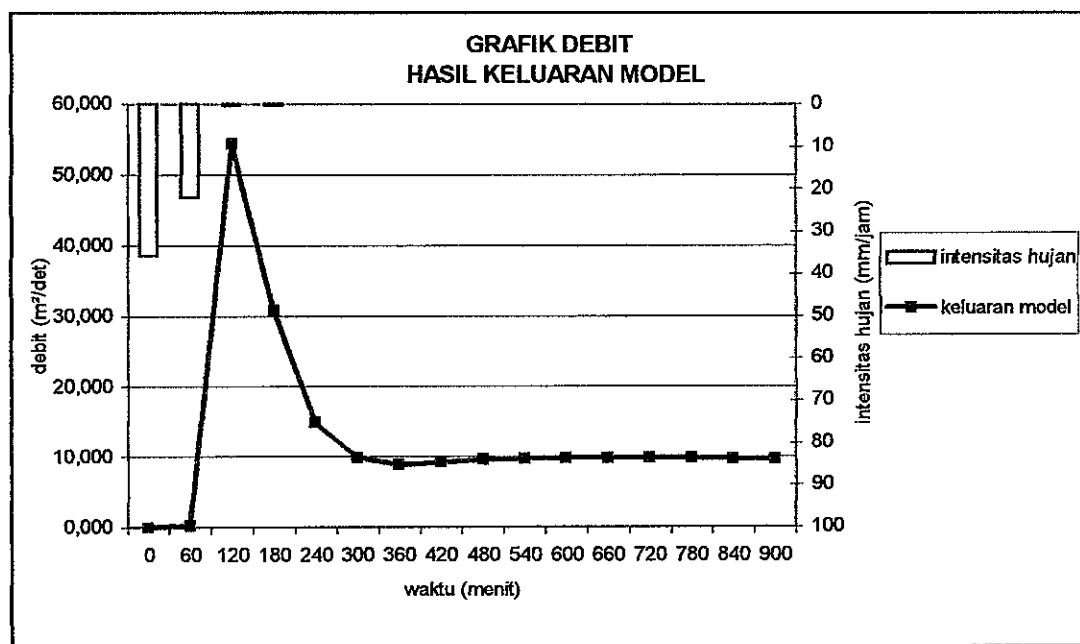
OUTLET HYDROGRAPHS--VER 4.880215
RUNOFF VOLUME PREDICTED FROM 60.56 MM OF RAINFALL = 20.030 MM
AVERAGE SOIL LOSS = 6337. KG/HA
MAX EROSION RATE = 90340. KG/HA MAX DEPOSITION RATE = 38503. KG/HA

UPT-PUSTAK-UNDIP

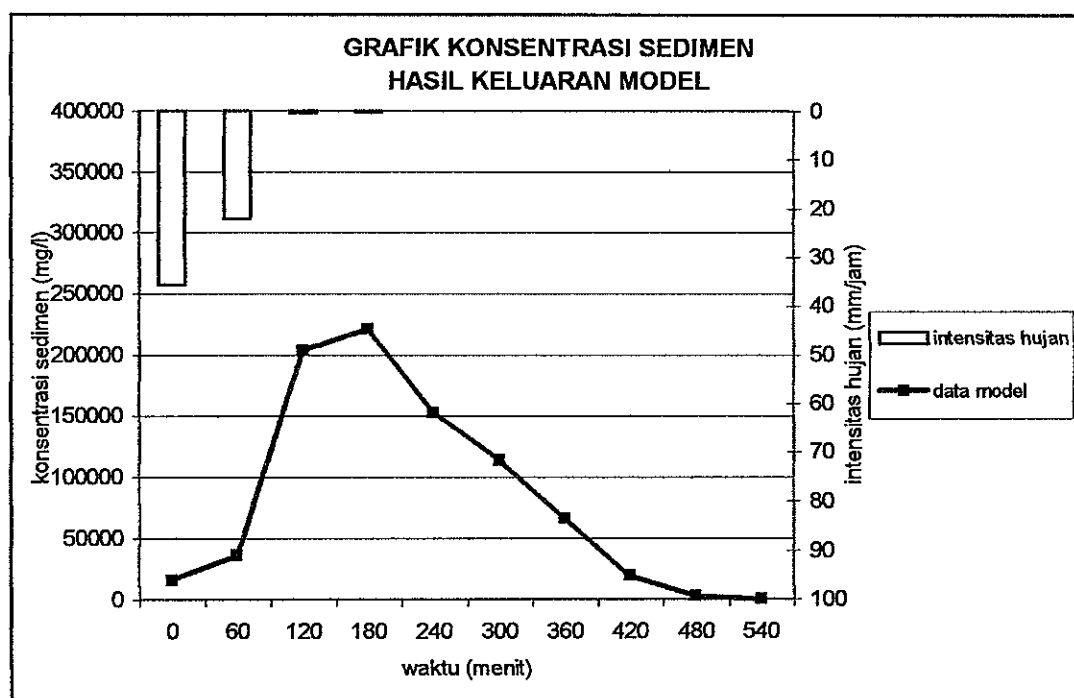
4.1.1. Hasil Model (Prediksi)

Penggunaan parameter hasil kalibrasi, merupakan parameter layak dan dapat digunakan sebagai masukan model pada kejadian hujan yang lain, sehingga akan menghasilkan keluaran, berupa aliran lahan (*runoff*) atau puncak banjir dan konsentrasi sedimen (*sediment concentrations*). Kejadian hujan yang dianalisis pada penelitian ini, terjadi pada tanggal 8 Maret tahun 2001, namun untuk kepentingan kalibrasi ditampilkan pula hidrograf kejadian hujan tanggal 1 Maret dan 28 Februari 2001. Hujan tanggal 8 Maret 2001 setinggi 58,51 mm, selama 4 jam, dengan intensitas 14,627 mm/jam, menyebabkan terjadinya *runoff* dengan puncak sebesar 2,624 mm/jam dan puncak banjir di Sungai Kaligarang $2,624 \times 20,69 = 54,29 \text{ m}^3/\text{dt}$, serta terjadi kehilangan tanah rata-rata sebesar 13.725 kg/ha.

Adapun keluaran hasil pemodelan yang telah dianalisis, selengkapnya dapat diperlihatkan pada Gambar 4.1 dan 4.2.



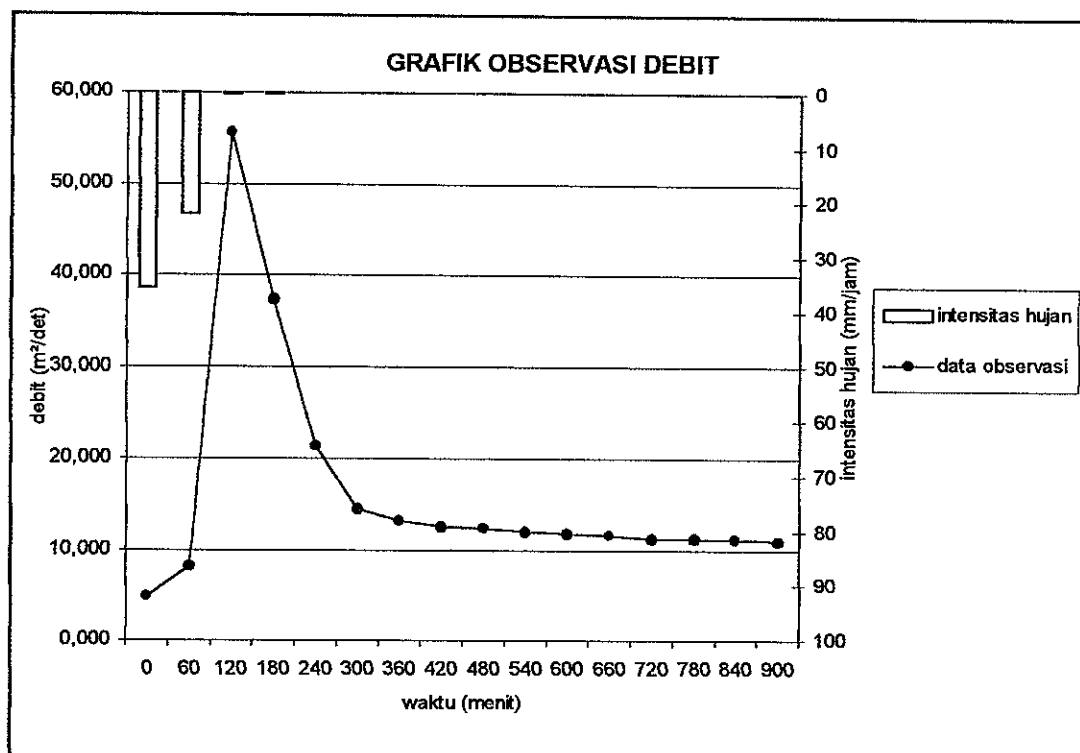
**Gambar 4.1. Grafik Debit Keluaran Model
(Kejadian Hujan Tanggal 8 Maret 2001)**



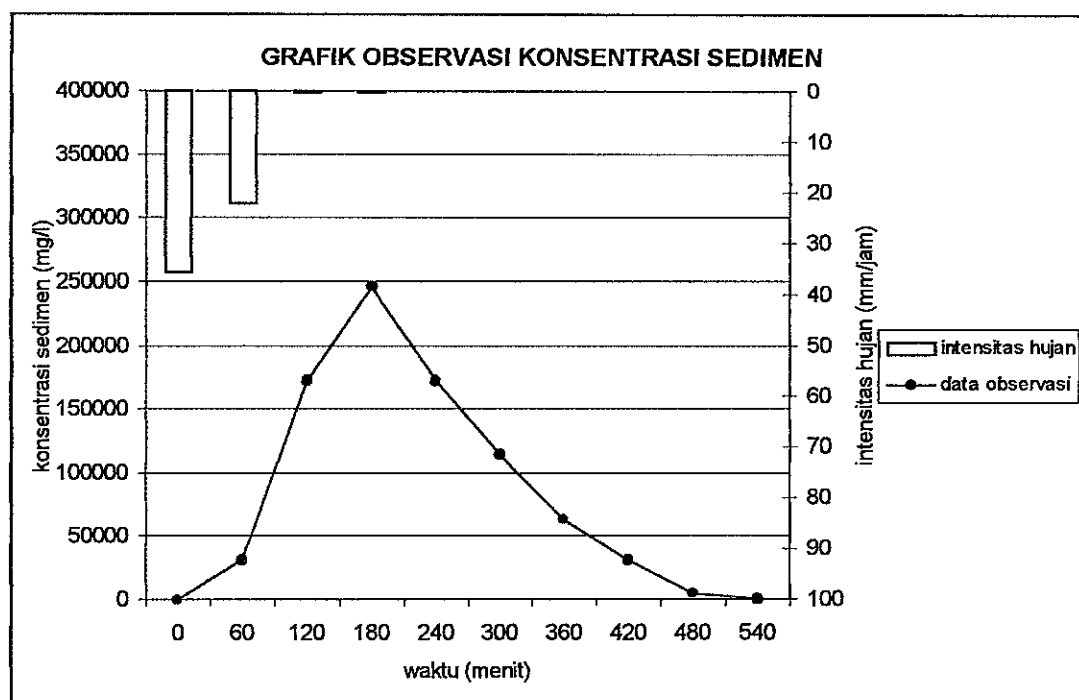
**Gambar 4.2. Grafik Konsentrasi Sedimen Keluaran Model.
(Kejadian Hujan Tanggal 8 Maret 2001)**

4.1.2. Hasil Observasi (Aktual)

Dari hasil pengamatan dilapangan yang dilakukan, menunjukkan bahwa kejadian hujan pada tanggal 8 Maret 2001 (aktual), mengakibatkan puncak banjir di Sungai Kaligarang bertambah tinggi, yang selanjutnya dapat dibuat hidrograf banjir dengan debit puncak sebesar 55,712 m³/detik, seperti grafik debit yang diperlihatkan pada Gambar 4.3. Dan bersamaan dengan itu, dilakukan pula pengambilan sampel air yang mencerminkan konsentrasi sedimen pada aliran setiap jam di lokasi tersebut, kemudian dari hasil pengukuran tersebut dapat dibuat grafik sedimen (sedimentograf) seperti terlihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.3. Grafik Observasi Debit
(Kejadian Hujan Tanggal 8 Maret 2001)



Gambar 4.4. Grafik Observasi Sedimen.
(Kejadian Hujan Tanggal 8 Maret 2001)

4.2. Hasil Kalibrasi Keluaran Model

4.2.1. Koefisien Deterministik

Kalibrasi koefisien determinan dilakukan dengan memasukkan hasil keluaran model dan observasi pada kejadian hujan tanggal 8 Maret tahun 2001 (gambar 4.5 dan 4.6) kemudian dihitung berdasarkan persamaan seperti dibawah ini dan hasilnya dapat dibuat tabel (Tabel 4.4).

$$R^2 = \frac{\sum (Q_o - Q_{ave})^2 - \sum (Q_o - Q_m)^2}{\sum (Q_o - Q_{ave})^2}$$

$$= \frac{(2.431,270) - (253,472)}{(2.431,270)} = 0,895 \sim 1 \text{ (layak).}$$

Tabel 4.4. Kalibrasi Debit Satu Kejadian Hujan

No.	Interval waktu (menit)	Debit Observasi Q_o (m^3/dt)	Runoff RO ($mm/j \text{ am}$)	Debit Model Q_m (m^3/dt)	$(Q_o - Q_m)^2$	$(Q_o - Q_{ave})^2$
1	2	3	4	5 = 4 x A	6	7
1	0	4,812	0,000	0,000	23,158	142,939
2	60	8,234	0,011	0,230	64,069	72,829
3	120	55,712	2,624	54,304	1,982	1.516,635
4	180	37,396	1,493	30,886	42,374	425,514
5	240	21,394	0,717	14,844	42,901	21,400
6	300	14,623	0,482	9,977	21,587	4,601
7	360	13,234	0,432	8,946	18,385	12,489
8	420	12,645	0,446	9,221	11,721	16,999
9	480	12,345	0,462	9,563	7,740	19,563
10	540	12,024	0,472	9,760	5,128	22,506
11	600	11,845	0,476	9,859	3,945	24,236
12	660	11,594	0,478	9,894	2,890	26,770
13	720	11,342	0,478	9,888	2,115	29,441
14	780	11,284	0,476	9,848	2,061	30,074
15	840	11,154	0,473	9,788	1,865	31,517
16	900	10,958	0,469	9,712	1,553	33,756
Jumlah :		260,596		206,721	253,472	2.431,270
rerata debit		16,287	$R^2 = \frac{(\sum 6 - \sum 7)}{(3 - Q_{ave})} = 0,895 \sim 1$			

Keterangan : A : Koefisien lahan = 20, 69

4.2.2. Grafik Puncak Banjir dan Erosi

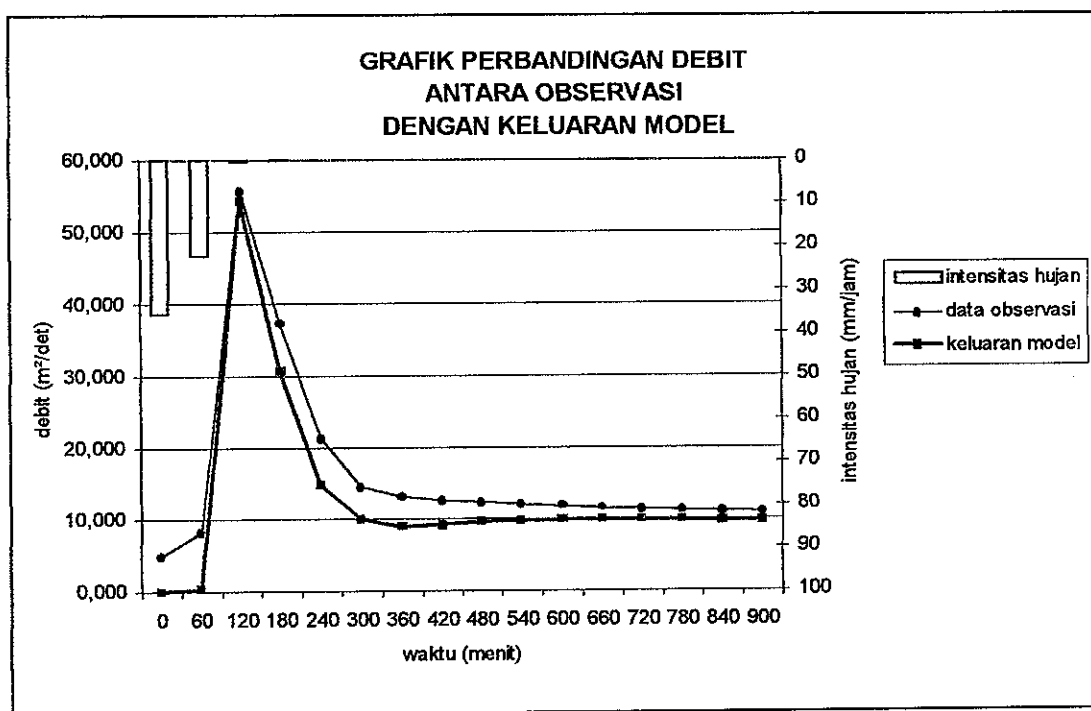
Hasil keluaran model pada kejadian tanggal 8 Maret tahun 2001 berupa grafik debit (hidrograf) dan grafik sedimen hasil erosi (sedimentograf), merupakan prediksi yang dibandingkan terhadap hasil pengukuran (observasi), seperti terlihat pada gambar 4.5 dan 4.6. Adapun analisis selengkapnya adalah sebagai berikut:

a. Hidrograf

Puncak banjir keluaran model (prediksi) : $2,624 \text{ (mm/jam)} \times 20,69 = 54,29 \text{ m}^3/\text{dt}$.

Puncak banjir hasil observasi (aktual) : $55,712 \text{ m}^3/\text{dt}$.

$$\text{Hasil kalibrasi puncak banjir: } \frac{(55,712 - 54,29)}{55,712} \times 100\% = 2,55\% < 10\%$$



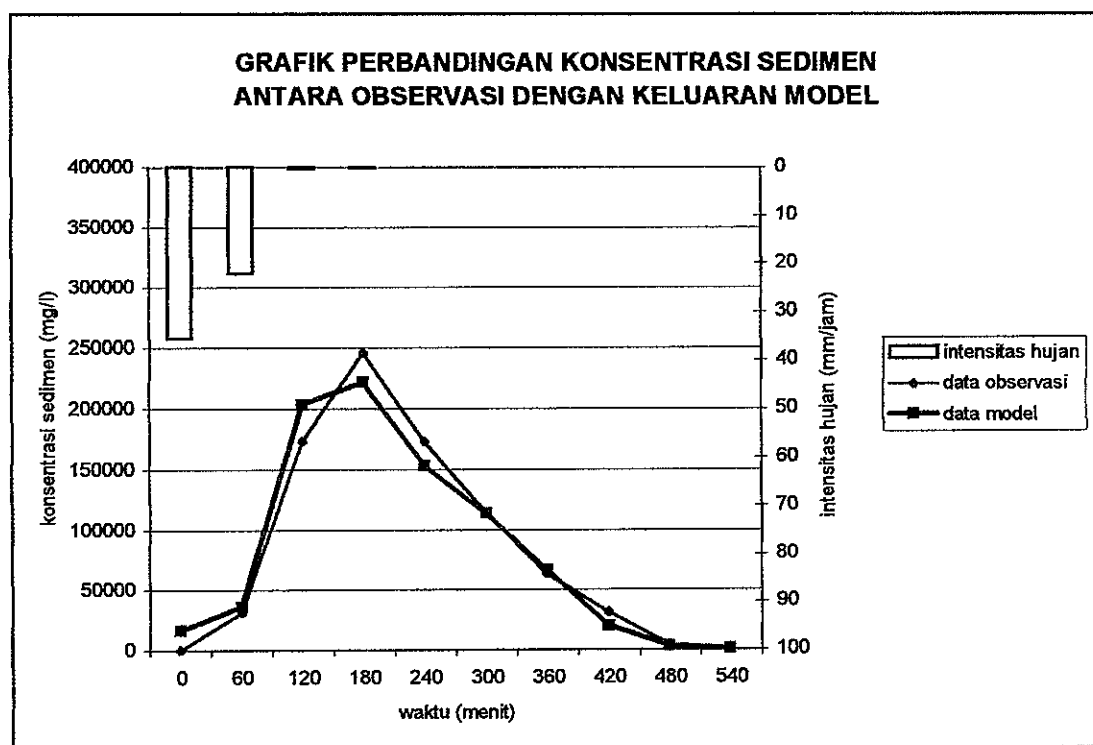
**Gambar 4.5. Grafik Kalibrasi Debit
(Kejadian Hujan Tanggal 8 Maret 2001)**

b. Sedimentograf

Puncak grafik sedimen (prediksi) : 243.200 mg/lt.

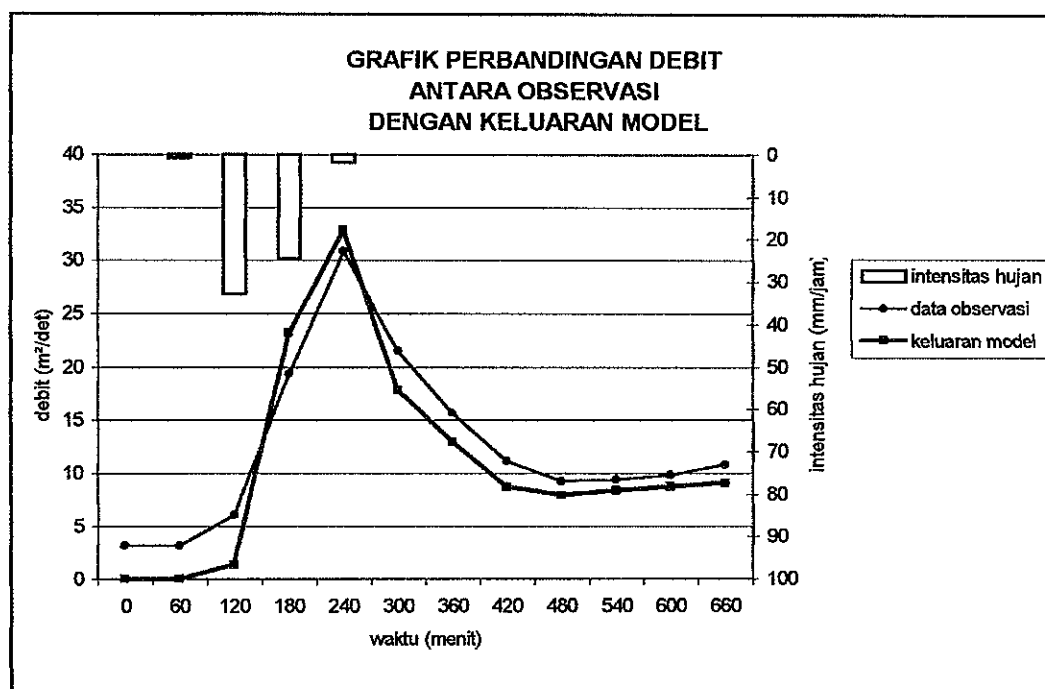
Puncak grafik sedimen (aktual) : 248.500 mg/lt.

Hasil kalibrasi sedimen:
$$\frac{(248.500 - 243.200)}{248.500} \times 100\% = 2,13\% < 10\%$$

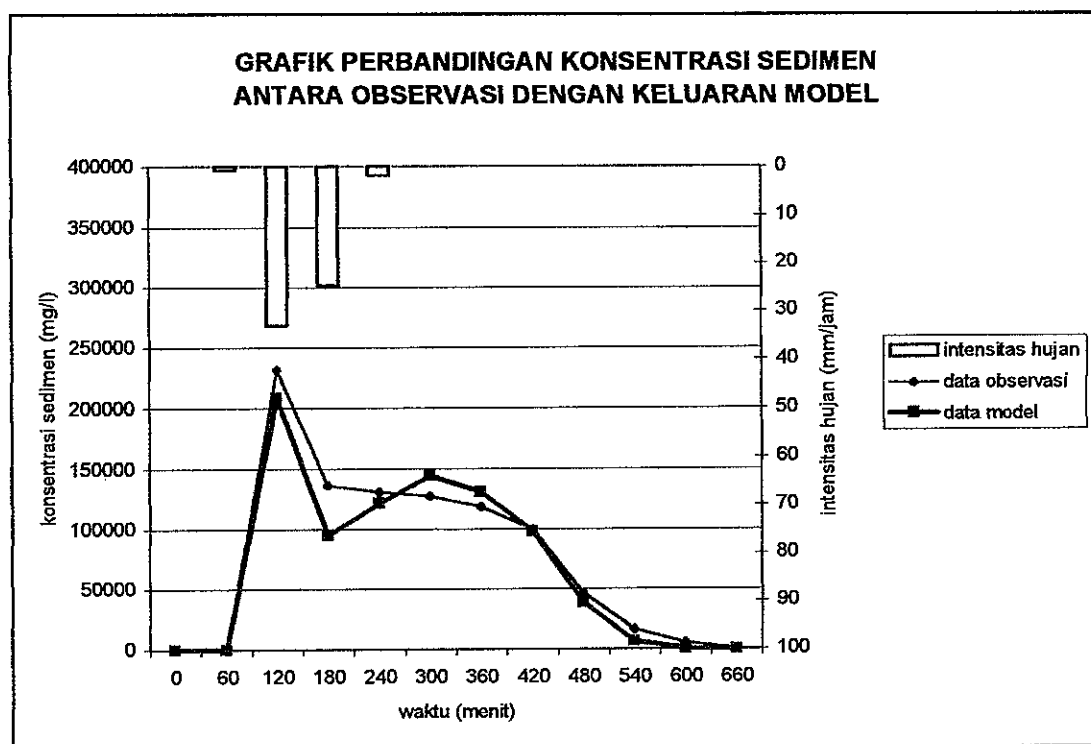


**Gambar 4.6. Grafik Kalibrasi Sedimen.
(Kejadian Hujan Tanggal 8 Maret 2001)**

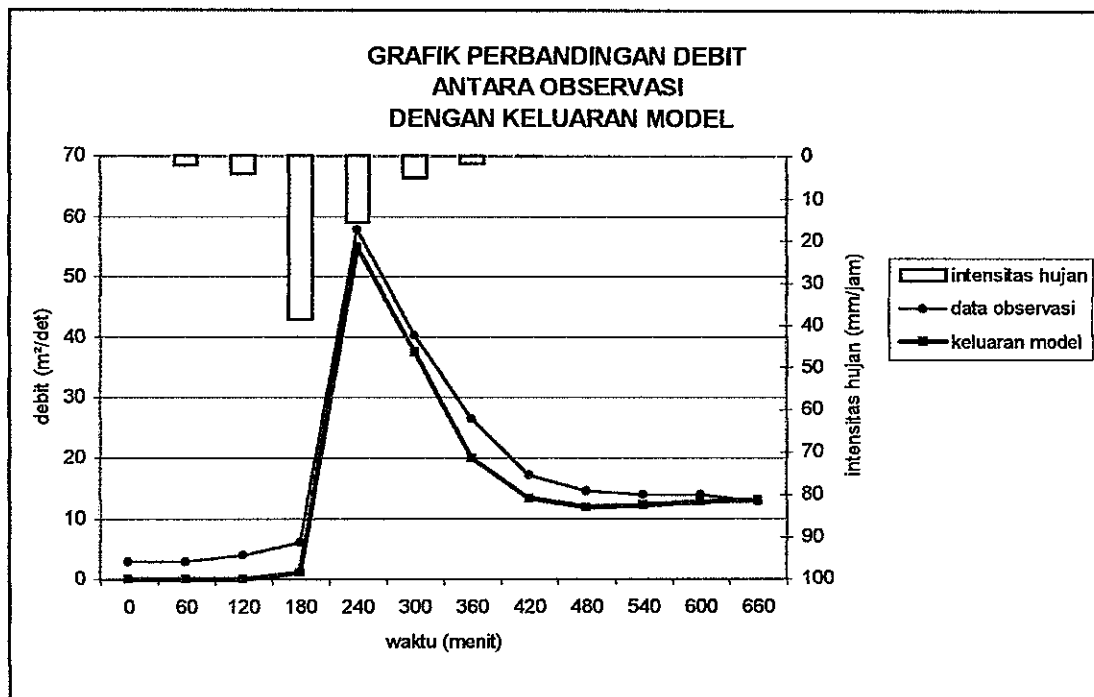
Sedangkan grafik puncak banjir dan erosi pada kejadian tanggal 28 Februari dan 1 Maret tahun 2001 sebagai hasil kalibrasi model dapat ditampilkan pada Gambar 4.7, 4.8, 4.9, dan 4.10.



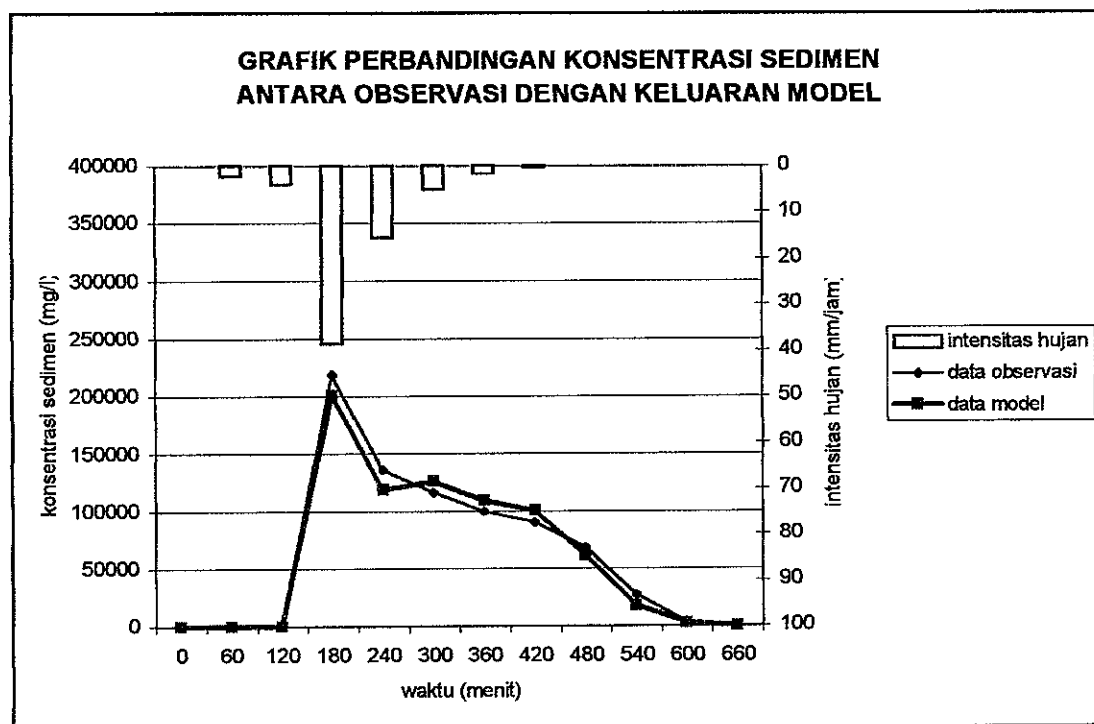
**Gambar 4.7. Grafik Kalibrasi Debit
(Kejadian Hujan Tanggal 28 Februari 2001)**



**Gambar 4.8. Grafik Kalibrasi Sedimen.
(Kejadian Hujan Tanggal 28 Februari 2001)**



**Gambar 4.9. Grafik Kalibrasi Debit
(Kejadian Hujan Tanggal 1 Maret 2001)**



**Gambar 4.10. Grafik Kalibrasi Sedimen.
(Kejadian Hujan Tanggal 1 Maret 2001)**

Dari hasil kalibrasi terhadap tiga kejadian hujan tersebut, menunjukkan kelayakan yang signifikan dan pada tahap ini apabila hasil keluaran model menyimpang jauh, maka dilakukan perubahan terhadap parameter awal dari hasil perhitungan dan penggunaan tabel, dengan cara ubah coba (*trial-error*), hingga didapatkan hasil yang sesuai atau layak (Gambar 4.5 dan 4.6). Adapun parameter awal yang dihasilkan, seperti terlihat pada Lampiran H, sedangkan parameter model hasil kalibrasi dapat ditampilkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5. Parameter Hasil Kalibrasi Model

a. Tanah

PARAMETER	Satuan	JENIS TANAH			
		Latosol	Latosol	Mediteran	Andosol
		Coklat Tua	Coklat	coklat tua	coklat
Porositas total (IP)	%	63	67	63	75
Kapasitas lahan (FP)	mm	52	59	57	54
Laju infiltrasi konstan (FC)	mm	17,05	17,44	17,31	17,73
Selisih infil.maks.dengan kondisi konstan (A)	mm	8,82	8,20	8,20	8,31
Eksponen persamaan holtan (p)		60	35	30	30
Kedalaman infiltrasi (DF)	mm	85	85	85	85
Persen jenuh tanah (ASM)	%	0,20	0,25	0,25	0,25
Erodibilitas tanah (K)		0,32	0,18	0,18	0,16

b. Tataguna Lahan

PARAMETER	Satuan	TATAGUNA LAHAN				
		Permukiman	Ladang	Sawah	Hutan	Kebun
Volume intersepsi (PIT)	mm/jam	0,8	0,3	0,1	1	0,3
Persen penutup lahan (PER)	%	6	3	5	8	5
Koefisien kekasaran (RC)		45	20	40	90	25
Faktor tanaman (C)		8	3,00	0,01	0,01	4
Tinggi kekasaran maksimum (HU)	mm	120	153	170	270	110
Konstanta manning's (N)		0,30	0,45	0,29	0,50	0,40

c. Saluran

PARAMETER	Satuan	KELAS LEBAR SALURAN		
		1	2	3
Lebar saluran	m	7,5	15	30
Kekasaran saluran (n)		0,06	0,05	0,04
Koefisien drainasi (DC)	mm/hari	12	12	12
Aliran air tanah dalam (GWRF)	mm/jam	0,01	0,01	0,01

4.3. Hasil Analisis Erosi Tahunan (*long term*)

Keluaran model yang dihasilkan terhadap satu kejadian hujan, belum memungkinkan untuk dapat digunakan sebagai konsep strategi dalam pengelolaan Daerah Aliran Sungai (DAS). Dengan demikian masih diperlukan rangkaian data sepanjang tahun agar dapat mewakili kejadian masa tertentu berdasarkan kondisi DAS tertentu pula.

Berdasarkan data manual hujan harian selama 15 tahun (1985-2000), selanjutnya dapat ditampilkan hasil analisis durasi hujan pada ketiga lokasi tersebut, seperti diperlihatkan pada Tabel B.1, B.2 dan B.3. (Lampiran B).

4.3.1. Hasil Keluaran Model

Dari hasil analisis durasi dan intensitas hujan tersebut, selanjutnya dapat dicari besaran erosi tahunan selama kurun waktu 15 tahun dengan erosi sebesar 218,23 ton/ha/th, seperti resume yang dibuat pada Tabel G.1. Lampiran G.

4.3.2. Hasil Pendekatan dengan Sedimentologi

Data debit yang digunakan adalah selama tiga tahun (1977-1999) dan dari data tersebut, dapat dibuat grafik lengkung debit seperti Gambar G.1 (Lampiran G).

Sedangkan data sedimen yang digunakan adalah data primer hasil observasi (aktual). Dari data ini didapatkan grafik lengkung sedimen seperti pada Lampiran G (Gambar G.2). Dan dengan kedua data diatas, didapatkan koefisien regresi dan eksponen debit dari persamaan konsentrasi sedimen adalah sebagai berikut:

$$C = 4,3625 \times Q_w^{0,5126}$$

Dari persamaan umum sedimen $Q_s = 0,0864 \times C \times Q_w \rightarrow$ ekivalensi debit: 0,0864

Didapatkan persamaan laju sedimen: $Q_s = 0,0864 \times 4,3625 \times Q_w^{(0,5126+1)}$

Berdasarkan grafik debit yang terjadi, selanjutnya dapat dibuat batas kelas (%), interval dan nilai tengah, untuk mendapatkan debit sedimen dan debit rata-rata tahunan Tabel G.3. (Lampiran G). Dan sebagai koreksi, bahwa selisih antara debit rata-rata yang terjadi selama tiga tahun dengan debit total rata-rata dibagi debit rata-rata, telah menghasilkan besaran kurang dari 2 % yang analisisnya dapat dijelaskan sebagai berikut :

$$\frac{Q_{ave} - \bar{Q}_{tot}}{Q_{ave}} = \frac{4,236 - 4,21}{4,236} = 0,69 \% < 2 \%$$

Dan besarnya debit sedimen tahunan $Q_s = Q_{harian} \times 365 = 21.757,75$ ton/tahun. Apabila Sub DAS Garang mempunyai luas 7.450 hektar, maka akan didapatkan jumlah sedimen tiap hektar sebagai berikut:

$$\text{Jumlah sedimen per hektar} = \frac{Q_s}{A} = 2,92 \text{ ton/ha/tahun} \rightarrow A = 7.450 \text{ ha.}$$

$$\begin{aligned} \text{Konsentrasi sedimen rata-rata : } C &= 4,3625 \times Q_w^{0,5126} \\ &= 119,14 \text{ mg/liter.} \end{aligned}$$

Erosi tahunan selama 15 tahun hasil Prediksi (paragraf 4.3.1.) sebesar 218,23 ton/ha/th.

Total erosi Sub DAS Garang : $218,23 \text{ t/ha/th} \times 7.450 \text{ ha} = 1.625.813,5 \text{ ton/th.}$

Nisbah pelepasan sedimen (SDR) dari Tabel 2.3 terhadap luas Sub DAS 74,50 km², didapat harga *Sediment Deliveri Ratio* : 2 %, sehingga yil sedimen yang terjadi adalah sebesar : $1.625.813,5 \times 2 \% = 32.516,3 \text{ ton/tahun.}$

Jumlah sedimen tahunan aktual (Tabel G.3.) sebesar: 21.757,05 ton/th, yang merupakan sedimen layang (*suspended load*), sedangkan sedimen dasar (*bed load*) diperkirakan 10%, sehingga sedimen total (yil sedimen) yang terjadi adalah sebesar : 23.932,75 ton/tahun.

Dari analisis kedua metode pendekatan ini dapat disimpulkan bahwa terjadi besaran hasil yang mendekati.

4.4. Hasil Simulasi Skenario Penggunaan Lahan dengan Model *ANSWERS*

Simulasi adalah merupakan suatu proses pemilihan dengan cara ubah-coba yang menghasilkan suatu rangkaian skenario, untuk dapat dijadikan pilihan terbaik dalam suatu pengambilan keputusan sesuai dengan tujuan pengelolaan DAS yang ditetapkan (arahan, Balai RLKT Wilayah V, 1999).

Dalam upaya memprediksi besarnya erosi dan puncak banjir pada Sub DAS Garang, maka untuk penggunaan lahan tertentu, maka perlu dilakukan simulasi dalam berbagai skenario.

Dan ada sepuluh skenario yang dapat ditampilkan terhadap perubahan tataguna lahan tersebut, mulai dari hutan alam menjadi ladang atau kebun campuran dan sebaliknya, maka kemudian disimulasikan secara variatif dengan interval 5 % kali luas Sub DAS Garang dengan hasil sebagaimana terlihat pada Tabel 4.6. di bawah ini.

Tabel 4.6. Rencana Skenario Pengelolaan Sub Das Garang

SKENARIO	TATAGUNA LAHAN									
	Permukiman		Ladang		Sawah		Hutan		Perkebunan	
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
Kondisi Awal	603,4	8,1	2346,7	31,5	2100,9	28,2	1400,6	18,8	998,3	13,4
1	tetap	tetap	tetap	tetap	tetap	tetap	372,5	5	2026,4	27,2
2	tetap	tetap	tetap	tetap	tetap	tetap	752,4	10	1646,5	22,1
3	tetap	tetap	2220,1	29,8	tetap	tetap	1877,4	25	648,15	8,7
4	tetap	tetap	2048,7	27,5	tetap	tetap	2197,7	30	499,15	6,7
5	tetap	tetap	1869,9	25,1	tetap	tetap	2577,7	35	298	4
6	tetap	tetap	1646,4	22,1	tetap	tetap	2950,2	40	149	2
7	tetap	tetap	1348,4	18,1	tetap	tetap	3322,7	45	74,5	1
8	tetap	tetap	1043	14	tetap	tetap	3702,6	50	0	0
9	tetap	tetap	670,5	9	tetap	tetap	4075,1	55	0	0
10	628,4	8,43	295,3	3,96	tetap	tetap	4425,3	60	0	0

Sedangkan perhitungan hasil simulasi skenario tataguna lahan terhadap erosi adalah sebesar 30,97ton/ha/th ~ 30 ton/ha/th (angka arahan dari Balai RLKT wilayah V, Dep. Kehutanan dan Perkebunan) dapat di sajikan pda Tabel G.2. (Lampiran G). Hasil besaran tersebut diperoleh dengan mengadakan penambahan hutan hingga mencapai 60 % kali luas Sub DAS Tabel 4.6. diatas.

Puncak banjir yang terjadi telah mengalami penurunan dari 54,30 m³/dt, menjadi 29,22m³/dt. Dan untuk mengetahui secara visual hasil simulasi skenario terhadap puncak banjir tersebut, selanjutnya dapat disajikan hidrograf seperti pada Gambar E.2 (Lampiran E).

BAB V

KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

5.1. Kesimpulan

Studi ini mengetengahkan salah satu metode pendekatan untuk menduga besarnya erosi dan puncak banjir akibat satu kejadian hujan pada kondisi tataguna lahan Sub DAS Garang saat penelitian (eksisting). Dan dari hasil analisis dengan menggunakan model distribusi *ANSWERS*, selanjutnya dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Data masukan model yang terdiri dari parameter tataguna lahan, parameter tanah, parameter kemiringan lereng (topografi) dan parameter alur sungai (Tabel 4.5), terbukti berpengaruh terhadap *runoff* dengan puncak 2,624 mm/jam atau puncak banjir 54,29 m³/dt, dan kehilangan tanah rata-rata sebesar 13.725 kg/ha akibat erosi dari kejadian hujan, pada tanggal 8 Maret 2001 setinggi 58,51 selama empat jam dengan intensitas 14,527 mm/jam. Dengan parameter yang sama, juga telah dicoba terhadap kejadian hujan pada tanggal 1 Maret dan tanggal 28 Februari 2001, dengan hasil cukup layak.
2. Peta spasial Sub DAS Garang yang dihasilkan oleh keluaran model, akibat satu kejadian hujan tersebut terhadap karakteristik eksisting, adalah meliputi: Peta spasial kemiringan lereng, Peta spasial produksi sedimen dan Peta spasial arah aliran (Gambar C.2, C.3 dan C.4) Lampiran C.
3. Kalibrasi yang dilakukan terhadap hidrograf dan sedimentograf hasil kejadian hujan tanggal 8 Maret 2001, menunjukkan kelayakan model dengan hasil bahwa, angka determinan yang didapatkan mencapai 0,895 ~ 1 dan selisih puncak banjir antara model dengan observasi mencapai 1,408 m³/dt atau 2,55 %, dilihat dari Gambar 4.5 (55,712 – 54,29) m³/detik, sedangkan selisih besaran konsentrasi sedimen pada sedimentograf

sebesar 2,1% (Gambar 4.6). Sedangkan untuk kejadian tanggal 28 Februari dan 1 Maret tahun 2001 seperti terlihat pada Gambar 4.7, 4.8, 4.9, 4.10.

4. Dengan menggunakan parameter hasil kalibrasi tersebut diatas, maka analisis erosi tahunan selama 15 tahun (1985-2000) mendapatkan besaran 218,229 ton/ha/tahun, seperti ditampilkan pada Tabel G.1 (Lampiran G).
5. Untuk mendapatkan erosi tahunan agar mendekati batas yang direkomendasikan oleh Balai RLKT sebesar 30 ton/ha/tahun, maka luas hutan harus disimulasikan hingga mencapai 60 % dari kondisi eksisting 18,8 %, dan ternyata bisa dicapai angka erosi tahunan sebesar 30,97 ton/ha/tahun, seperti hasil resume yang diperlihatkan pada Tabel G.2 (Lampiran G).
6. Hasil besaran angka seperti pada poin 7 diatas, diperoleh dengan mengadakan simulasi skenario tataguna lahan, seperti direncanakan pada Tabel E.1 dan efek perubahan hidrograf akibat perubahan tataguna lahan pada Sub DAS Garang berupa puncak banjir (Lampiran E).
7. Hasil analisis *yield sediment* menurut metode *ANSWERS* : 32.516,3 dan metode Sedimentologi : 23.932,75. Sehingga dapat disimpulkan bahwa terjadi kesamaan hasil yang mendekati.

5.2. Rekomendasi

Dari hasil penelitian ini, selanjutnya dapat direkomendasikan hal-hal sebagai berikut:

1. Model *ANSWERS* bisa diterapkan pada daerah studi (Sub DAS Garang) dan Sub DAS lain disekitarnya yang terikat dengan parameter tataguna lahan, parameter tanah, parameter kemiringan lereng (topografi) dan parameter alur sungainya.

2. Parameter yang telah dihasilkan melalui proses kalibrasi, dapat digunakan untuk kejadian hujan yang lain pada lokasi penelitian.
3. Dari hasil analisis sensitifitas parameter yang dominan berpengaruh meliputi:
 - a. Laju infiltrasi (FC)
 - b. Kedalaman zona pengamatan infiltrasi (DF).
 - c. Porositas total (TP)
 - d. Kapasitas lahan (FP).
4. Upaya menurunkan laju erosi pada Sub DAS Garang bisa dilakukan dengan penambahan luas hutan pada lokasi sesuai dengan peta spasial hasil simulasi.
5. Implementasi pengelolaan Sub DAS Garang dapat dilakukan secara bertahap dengan langkah sosialisasi secara intensif.

Untuk kepentingan penelitian selanjutnya, perlu dicermati terhadap parameter dominan Sub DAS Garang yang paling berpengaruh terhadap erosi dan puncak banjir, adalah Laju infiltrasi (FC), Kedalaman zona pengamatan infiltrasi (DF), Porositas total (TP) dan Kapasitas lahan (FP).

DAFTAR PUSTAKA

1. _____. 1989. *Flow Duration, Sediment-Rating Curve Programs for Personal Computer*. Sediment section of USBR, Denver, Colorado.
2. _____. 1997. *International Workshop : Experiences with Soil Erosion Models, October 6-8, 1997, Prague, Czech Republic*. CVUT, Czech Republic and BOKU, Austria.
3. _____. 1999. *Karakteristik dan Analisis Biofisik Wilayah Rawan Kekeringan dan Banjir. Laporan Terakhir Kaligarang Pilot Project 1996 – 1999*. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian dan Centre for International Cooperation in Agricultural Research for Development.
4. _____. 1999. *Laporan Akhir Studi Penyusunan Mangement Plan DAS Kaligarang*. PUSPICS Fakultas Geografi Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.
5. _____. 1999. *Laporan Monitoring dan Evaluasi Penggunaan Lahan Sub DAS Garang, TA 1998/1999*. Sub Balai RLKT Jratunseluna, Salatiga.
6. _____. 1999. *Pedoman Penyusunan dan Penulisan Tesis*. Program Pasca Sarjana Universitas Diponegoro, Semarang.
7. Adidarma, W dan Lanny, M. 1998. *Pengaruh Perubahan Penutup Lahan Terhadap Karakteristik Variabel Hidrologi di DPS Citanduy*. Prosiding Volume I, B – 3, PIT Himpunan Ahli Teknik Hidraulik Indonesia (HATHI), Bandung 10-12 Desember 1998. HATHI Pusat, Bandung.
8. Arsyad, S. 1989. *Konservasi Tanah dan Air*. IPB Press. Bogor.
9. Beasley, D.B. dan Huggins, L.F. 1981. *ANSWERS : User's Manual*. US. EPA. Region V. Chicago, USA.
10. Bedient, P.B. 1989. *Hydrology and Floodplain Analysis*. Addison-Wesley Publishing Company, USA.
11. Breussers, H.N.C. 1979. *Sedimentation 1*. International Course in Hydraulic Engineering, Delft.
12. Chow, V.T., Maidment, D.R. dan Mays L.W. 1988. *Handbook Aplied Hydrology*. Mc. Graw Hill Book Company Inc., New York, USA.
13. De Roo, A.P.J. 1993. *Modelling surface runoff and soil erosion in catchments using Geographical Information System*. Nederlandse Geografische Studies, Ultrecth.

14. Foster, G. R. 1976. *Sedimentations, General*. Proceedings of the National Symposium on Urban Hydrology, Hydraulics and Sediment Control. University of Kentucky. Lexington.
15. Frevert. 1981. *Soil and Water Conservation Engineering, Third Edition*. John Wiley and Son Inc. New York. USA.
16. Haan, C.T. 1982. *Hydrologic Modeling of Small Watersheds*. The American Society of Agriculture Engineers, Michigan.
17. Hadihardaja, J. 1981. *Dampak Pembangunan Terhadap DAS*. Penataran Bappeda Tk. II Jateng.
18. Harsono. 1995. *Erosi dan Sedimentasi*. Hand Out Pasca Sarjana Teknik Pertanian UGM, Yogyakarta.
19. Hatmoko, W. 1996. *Pengantar Pengembangan Sumberdaya Air Terpadu*. Pendidikan Pasca Sarjana Teknik Pengairan Program Studi Spesialis 1 PSDA, Kerjasama Dep. PU – ITB, Bandung.
20. Holtan, H. N. 1961. *A Concept of Infiltration Estimated in Watersheds Engineering ARS-41-51*. USDA Agricultural Research Service.
21. Huggins, L. F. dan Monke, E. J. (1968). *A Mathematical Model for Stimulating the Hydrologic Response of A Watershed*. Water Resources Research, Vol. 4, No. 3.
22. Ilyas, M.A., Surapati, E. dan Setiawan, W. 1999. *Kaji Ulang dan Identifikasi Kondisi Sedimentasi Waduk-Waduk di P. Jawa sebagai Usaha Untuk Menunjang Efisiensi O & P Bangunan Pengairan*. Laporan Akhir Departemen PU, Badan Litbang PU, Puslitbang Pengairan, Bandung.
23. Ilyas, M.A. 1985. *Monitoring dan Evaluasi Sedimentasi dan Erosi*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Pengairan, Ditjen Pengairan, Pekerjaan Umum, Bandung.
24. Iwasa, Y. dan Inoue, K. 1982. *Mathematical Simulation of Channel and Overland Flood Flows In View of Flood Disaster Engineering*. Proc. Vol. D. Third Congress of The Asian and Pasific Regional Divisions (A.P.D) of The International Association For Hydraulic Research (I.A.H.R), Bandung.
25. Julien, P.Y. 1995. *Erosion and Sedimentation*. Cambridge University Press. New York, USA.
26. Kalma, J.D dan Calder, C.D. 1994. *Land Surface Process in Large-Scale Hydrology*. Operational Hydrology Report, World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland.

27. Meyer, L. D. dan Wischmeier, W. H. 1969. *Mathematical Simulation of the Processes of Soil Erosion by Water*. Transaction of the ASAE, Vol. 12, No. 6.
28. Morgan, R.P.C. 1988. *Soil Erosion and Conservation I*. Longman Group (FE), Hongkong.
29. O'Connell, P. E. 1970. *Hydrological System Modelling : A Historical Perspective*. University of Newcastle upon Tyne, UK.
30. Sarief, E.S. 1988. *Konservasi Tanah Dan Air*. CV Pustaka Buana, Bandung.
31. Seta, A.K. 1991. *Konservasi Sumberdaya Tanah dan Air*. Kalam Mulia, Jakarta.
32. Sinukaban, Naik. 1995. *Manajemen/Pengelolaan Daerah Aliran Sungai. Bahan Untuk Diskusi Penelitian Erosi dan Sedimentasi, Bandung, 12 Oktober 1995*. Puslitbang Air, Bandung.
33. Sosrodarsono, S. dan Takeda, K. 1980. *Hidrologi untuk Pengairan, cetakan ke-6*. Pradnya Paramita, Jakarta.
34. Sri-Harto. 1993. *Analisis Hidrologi*, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
35. Strand, R.I. dan Pemberton, E.L. 1982. *Reservoir Sedimentation*. Division of Planning Technical Services Engineering and Research Centre, Denver-Colorado.
36. Suripin. 1998. *Hubungan antara Karakteristik Daerah Tangkapan Air (DTA) dan Sediment Delivery Ratio (SDR)*. Prosiding Volume I, B – 19, PIT Himpunan Ahli Teknik Hidraulik Indonesia (HATHI), Bandung 10-12 Desember 1998. HATHI Pusat, Bandung.
37. Sutrisno, Endro. 1993. *Pengaruh Tata Guna Lahan Terhadap Debit Sungai*. Makalah Ceramah Bidang Keairan I, Badan Penerbit Universitas Diponegoro, Semarang.
38. Thompson, L.M. 1957. *Soil and Soil Fertility*. McGraw-Hill Book Co., Inc.
39. White, S. M. 1977. *Estimation of Sedimen Yield*. Delft.
40. Wischmeier, W. H. dan Smith, D. D. 1978. *Predicting Rainfall Erosion Losses Aquide to Conservation Planning*. US Department of Agriculture Hand Book No. 537. USDA, Washington D.C.
41. Yang, T.C. 1996. *Sediment Transport : Theory and Practice*. McGraw-Hill Book Co. Inc., Singapore.
42. Yiniarti. 1999. *Pengukuran Angkutan Sedimen*. Proyek Pengendalian Banjir Wilayah Jawa Utara, PELATIHAN PEMANTAUAN DEGRADASI DASAR SUNGAI, Oktober 1999, Cirebon.